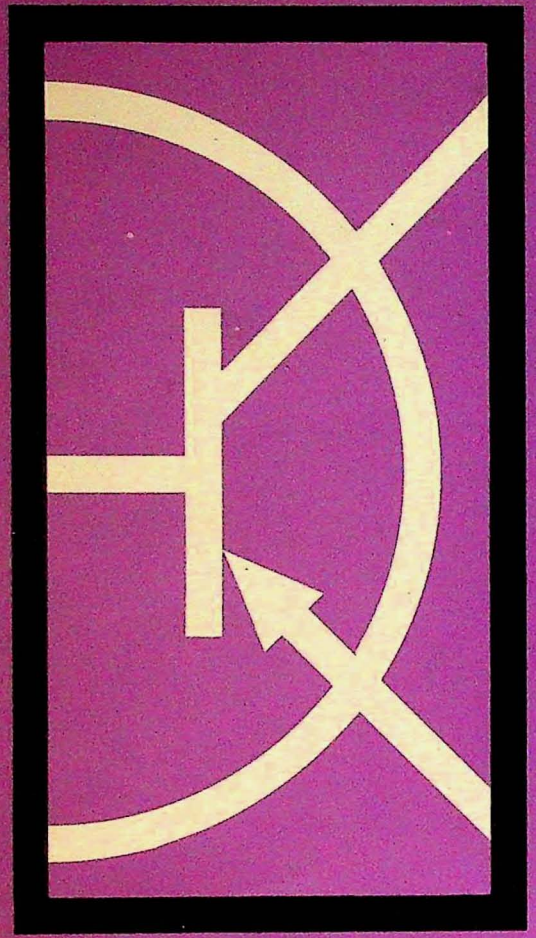


TOPP

Buchreihe Elektronik

4a

Fred Seyferth

Meß- und Prüfgeräte

TOPP

TOPP Buchreihe Elektronik 4a

Meß- und Prüfgeräte
Buchreihe Elektronik 4a

In den Stücklisten sind folgende
Änderungen bzw. Ergänzungen nötig:

Schaltung 11:	R 10	Widerstand 220 Ohm
Schaltung 19:	R 7	bitte streichen
Schaltung 26:	R 6	Widerstand 560 Ohm
Schaltung 29:	R 9	Widerstand 5,6 K'Ohm
Schaltung 30:	C 2	bitte streichen

Fred Seyferth

Meß- und Prüfgeräte

Verlag Frech Stuttgart-Botnang

Das unter der Nummer 4 in der TOPP-Buchreihe Elektronik erschienene Buch „Meßgeräte mit Transistoren" wurde durch den vorliegenden Titel ersetzt.

Eine gewerbliche Nutzung der in diesem Buch veröffentlichten Schaltungen bedarf der Genehmigung des Verfassers. Eine Gewähr für die Patentfreiheit der Schaltungen wird nicht übernommen.

ISBN 3-7724-0181-3

© 1973

Verlag und Druckerei M. Frech
7000 Stuttgart 1 (Botnang)

Wissenschaftliche Assistenz
Dipl.-Ing. O. Kilgenstein

Druck: Frech, Stuttgart-Botnang 1-2-3-4-5-6-7-8-79-78-77-76-75-74

INHALT

1. **Elektronenstrahl-Oszillograf**

Schaltung 1: Blockschaltbild 8
Schaltung 2: Y-Eingangsstufe 10
Schaltung 3: Y-Verstärker 12
Schaltung 4: Ablenkgenerator 14
Schaltung 5: X-Verstärker 16
Schaltung 6: Sichtteil 18
Schaltung 7: Netzteil 20
Schaltung 8: Verdrahtungsschema 22

2. **Transistor-Millivoltmeter**

Schaltung 9: Blockschaltbild 24
Schaltung 10: Eingangsverstärker 28
Schaltung 11: Anzeigeverstärker 28

3. **Fet-Gleichspannungsvoltmeter**

Schaltung 12: Gesamtschaltung 30

4. **Sinus-RC-Generator**

Schaltung 13: Prinzip „Wien-Brücke" 32
Schaltung 14: Prinzip „Überbrücktes-T-Glied" 34
Schaltung 15: 1-kHz-Generator 36
Schaltung 16: RC-Generator 10 Hz ... 0,1 MHz 38

5. **Rechteck/Sägezahngenerator**

Schaltung 17: Sägezahngenerator 42
Schaltung 18: Begrenzerstufe 44

6. **Impulsgenerator**

Schaltung 19: Gesamtschaltung 46

7. **Frequenzmeßgerät**

Schaltung 20: Innenschaltung CA 3046 48
Schaltung 21: Gesamtschaltung 49

8. **RLC-Meßbrücke**

Schaltung 22: Prinzip R-Messung 52
Schaltung 23: Prinzip L-Messung 53
Schaltung 24: Prinzip C-Messung 54
Schaltung 25: RLC-Messung 55
Schaltung 26: 1,6-kHz-Generator 57
Schaltung 27: RLC-Meßbrücke 58
Schaltung 28: Verstärker mit Anzeige 59

9. **Stabilisiertes Netzgerät 0 ... 25 V/1 A**

Schaltung 29: Gesamtschaltung 62

10. **Kleinnetzteil mit elektronischer Sicherung**

Schaltung 30: Gesamtschaltung 64

11. **Stabilisierte 12-V-Spannungsquelle**

Schaltung 31: Gesamtschaltung 66

12. **Transistor-β-Tester**

Schaltung 32: β-Meßgerät 70
Schaltung 33: NPN-Tester 72
Schaltung 34: NPN-Tester mit direkter Anzeige 74

13. **RC-Dekaden**

Schaltung 35: 10er Widerstandsdekade 76
Schaltung 36: 9er Widerstandsdekade 78
Schaltung 37: 9er Kapazitätsdekade 79

14. **Durchgangs-Prüfsummer**

Schaltung 38: Gesamtschaltung 80

15. **Elektronischer Schalter**

Schaltung 39: Blockschaltung 82
Schaltung 40: Gesamtschaltung 83

16. **Universalverstärker**

Schaltung 41: Gesamtschaltung 86
Schaltung 42: Komplementärverstärker 88

Obwohl der einschlägige Markt eine Vielzahl preiswerter Meß- und Prüfgeräte anbietet, bauen doch noch viele Amateure ihren Meßplatz selbst. Dabei spielt das „Sparen" meist die untergeordnete Rolle gegenüber dem Gefühl des „Gelungenseins".
Die vorliegenden Bauanleitungen sind so einfach wie möglich gehalten, um auch dem Newcomer die Chance zu bieten, sich in das Gebiet der Meßtechnik einzuarbeiten. Trotzdem sollte man ein wenig vorbelastet sein, mit dem Lötkolben umgehen können und über Grundkenntnisse der Halbleitertechnik verfügen.
Die Reihenfolge der Meßgeräte ist nicht willkürlich gewählt. So steht aus gutem Grund zu Beginn die ausführliche Beschreibung eines Klein-Oszillografen mit 3-cm-Röhre. Wenn dieser Nachbau gelungen ist, wird die Realisation der folgenden Meßgeräte wesentlich einfacher sein.

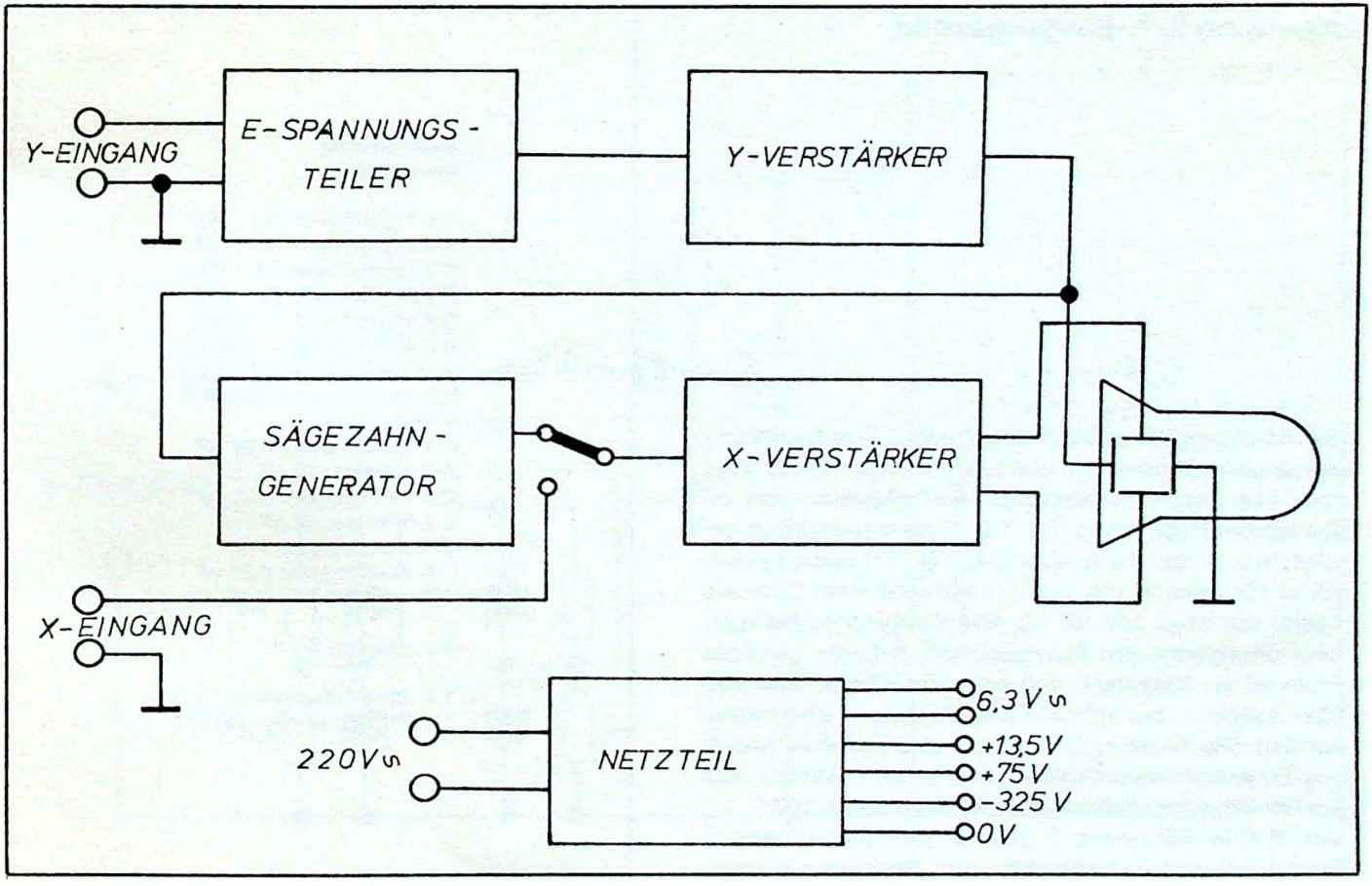
Ein weiterer Vorteil dieser Schaltungssammlung muß darin gesehen werden, daß nur wenige Halbleiter — und dann immer dieselben — Anwendung finden. Alle Geräte, mit Ausnahme des Oszillografen, werden mit einer Spannung von + 12 V betrieben. So kann man sich die Ausgabe für viele Netzteile sparen und die Meßgeräte aus einer gemeinsamen stabilisierten Spannungsquelle speisen.
Die Auswahl der passiven Bauelemente ist unkritisch. Wenn nichts anderes vermerkt ist, kommen für die Widerstände Ausführungen von 0,1—0,25 W, bei einer Genauigkeit von 5 % infrage. Für Kondensatoren gilt eine Betriebsspannung von 63 V und für die Elkos 15/18 V.

Elektronenstrahl-Oszillograf

Der Elektronenstrahl-Oszillograf ist eines der vielseitigsten Meßinstrumente überhaupt und sollte deshalb an keinem Meßplatz fehlen.
Das im folgenden beschriebene Selbstbaugerät ist bewußt einfach konstruiert, um auch dem nicht so versierten Amateur den Nachbau zu erleichtern. Die Schaltung ist vollkommen mit Transistoren bestückt und die Meßmöglichkeiten im Interesse eines unkomplizierten Aufbaus auf die am häufigsten vorkommenden Messungen, nämlich Definierung von Wechselspannungen unbekannter Form und Frequenzvergleiche mittels Lissajous-Figuren, beschränkt.

Schaltung 1: Blockschaltbild

Vom Vertikaleingang gelangt das zu messende Signal auf den Eingangsabschwächer, dessen frequenzkompensierter Spannungsteiler die Meßspannung im Verhältnis 1:1, 1:10 oder 1:100 herunterteilt. Der sich anschließende Y-Verstärker bringt das Eingangssignal auf einen Pegel von etwa 30 V, der genügt, um den Strahl über die gesamte Bildschirmhöhe auszulenken. Mit einem Teil der vertikalen Ausgangsspannung wird der Sägezahngenerator synchronisiert. Die Sägezahnspannung kann abgeschaltet und dafür eine externe Frequenz auf den X-Verstärker gegeben werden. Auf diese Weise lassen sich dann Frequenzvergleiche mittels Lissajous-Figuren durchführen, wobei auf eine Amplitudenregelung im X-Verstärker verzichtet wurde, da erfahrungsgemäß diese externe Spannung einem Sinusgenerator entnommen wird, dessen Ausgangsamplitude sowieso regelbar ist.
Die nötigen Versorgungsspannungen liefert ein Netzteil, und zwar:
6,3 V/300 mA für die Heizung der Bildröhre,
+ 13,5 V/ca. 25 mA für die Transistor-Vorstufen,
+ 75 V/ca. 40 mA für die Transistor-Endstufen,
– 325 V/1 mA als Hochspannung für die Bildröhre.
Als Oszillografenröhre kommt der Valvo-Typ DH 3–91 zum Einsatz.


Y-EINGANG
E-SPANNUNGS-TEILER
Y-VERSTÄRKER
SÄGEZAHN-GENERATOR
X-VERSTÄRKER
X-EINGANG
220V~
NETZTEIL
6,3V~
+13,5V
+75V
-325V
0V

Schaltung 2: Y-Eingangsstufe

Die Y-Eingangsstufe zeigt Schaltung 2. Das Eingangssignal gelangt über C 1 und C 6 entweder direkt oder über den Eingangsspannungsteiler abgeschwächt an die hochohmige Stufe T 1/T 2. Eine Verstärkung erfolgt hier nicht, dafür aber liegt der Eingangswiderstand bis etwa 50 kHz bei $\geqq$ 1 MΩ und sinkt dann bis 1 MHz auf etwa 100 kΩ ab. Die Feinamplitudenregelung übernimmt das Potentiometer R 8. Die gesamte Stufe ist so ausgelegt, daß noch Frequenzen bis weit über 1 MHz — bei HF-mäßigem Aufbau — übertragen werden. Die Trimmer C 2 und C 4 sind bei einer Rechteck-Eingangsfrequenz von 1 kHz so einzustellen, daß am Schirm eine saubere Rechteckform erscheint.

Von R 8 in Schaltung 2 gelangt das darzustellende Signal auf den Y-Verstärker, den Schaltung 3 zeigt.

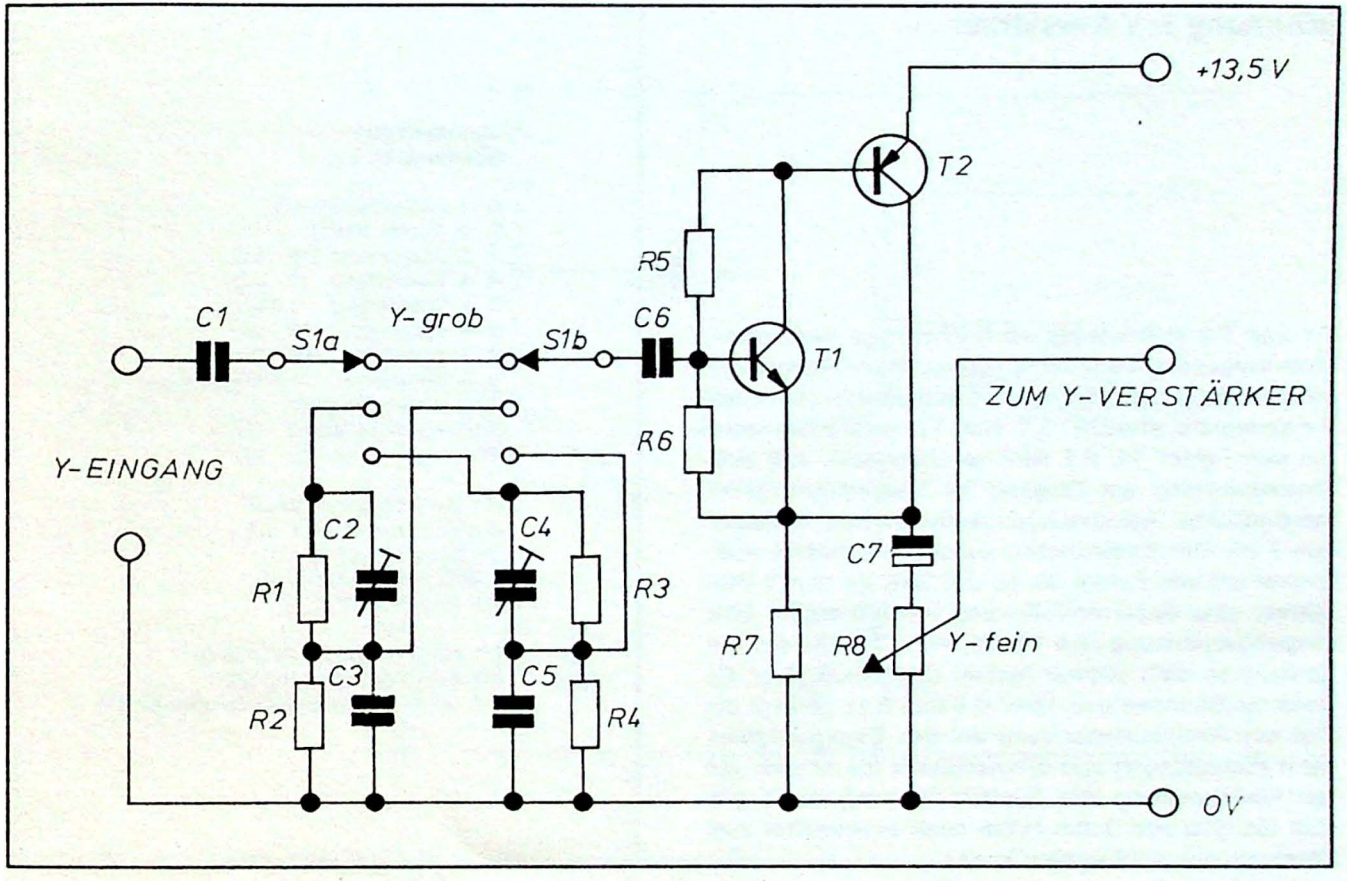
Einzelteilliste
Schaltung 2

R 1 Widerstand 1 MΩ
R 2 Widerstand 10 kΩ
R 3 Widerstand 1 MΩ
R 4 Widerstand 100 kΩ
R 5 Widerstand 2,7 MΩ
R 6 Widerstand 2,7 MΩ
R 7 Widerstand 1,2 kΩ
R 8 Potentiometer 5 kΩ

C 1 Kondensator 0,22 µF
C 2 Trimmer 50 pF
C 3 Kondensator 100 pF
C 4 Trimmer 50 pF
C 5 Kondensator 1 nF
C 6 Kondensator 0,22 µF
C 7 Elko 100 µF/15 V

S 1 Schalter 2 x 3

T 1 NPN-Transistor BC 108 C
T 2 PNP-Transistor BC 177


+13,5 V
T2
R5
C1
S1a
Y-grob
S1b
C6
T1
ZUM Y-VERSTÄRKER
R6
Y-EINGANG
C2
C4
C7
R1
R3
R7
R8
Y-fein
C3
C5
R2
R4
0V

Schaltung 3: Y-Verstärker

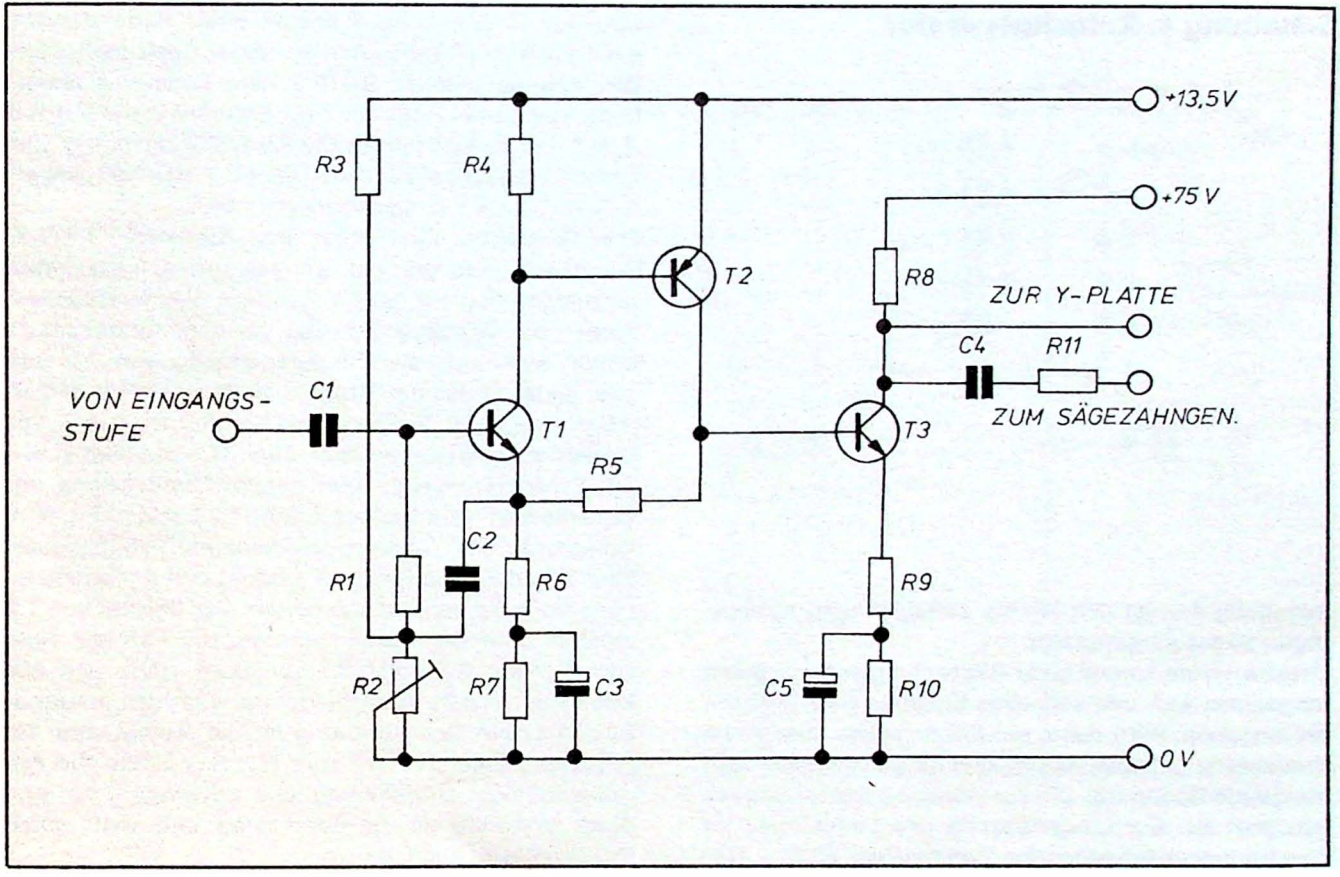
T 1 und T 2 sind wieder als hochohmige Verstärkerstufe aufgebaut. Damit wird eine optimale Anpassung an den relativ niederohmigen Abschlußwiderstand des Y-Feinreglers erreicht. T 1 und T 2 verstärken etwa um den Faktor 10. R 2 wird so eingestellt, daß eine Sinusspannung am Eingang im Übersteuerungsfall symmetrische Abkappungen aufweist (am Kollektor von T 2!). Der Endstufentransistor T 3 verstärkt noch einmal um den Faktor 30, so daß sich für den Y-Verstärker eine Gesamtverstärkung von 300 ergibt. Eine Eingangsspannung von 10 mV liefert bereits ein gut ablesbares Bild, 100 mV lenken den Strahl über die gesamte Bildhöhe aus. Über C 4 und R 11 gelangt ein Teil der Ausgangsspannung auf den Sägezahngenerator (Schaltung 4) und synchronisiert die Ablenk- mit der Meßspannung. Die Synchronisierung ist so gut, daß ein Bild von 3 mm Höhe noch einwandfrei zum „Stehen" gebracht werden kann.

Einzelteilliste
Schaltung 3

R 1 Widerstand 680 kΩ
R 2 Regler 50 kΩ
R 3 Widerstand 270 kΩ
R 4 Widerstand 10 kΩ
R 5 Widerstand 1,2 kΩ
R 6 Widerstand 180 Ω
R 7 Widerstand 560 Ω
R 8 Widerstand 7,5 kΩ/½ W
R 9 Widerstand 220 Ω
R 10 Widerstand 220 Ω
R 11 Widerstand 100 kΩ

C 1 Kondensator 0,22 µF
C 2 Kondensator 0,1 µF
C 3 Elko 500 µF/12 V
C 4 Kondensator 0,1 µF
C 5 Elko 500 µF/12 V

T 1 NPN-Transistor BC 108 C
T 2 PNP-Transistor BC 177
T 3 NPN-Transistor BSY 55 oder BF 178


+13,5V
+75 V
R3
R4
T2
R8
ZUR Y-PLATTE
C4
R11
VON EINGANGS-
STUFE
C1
T1
T3
ZUM SÄGEZAHNGEN.
R5
C2
R1
R6
R9
R2
R7
C3
C5
R10
0 V

Schaltung 4: Ablenkgenerator

Schaltung 4 zeigt den für die Zeitablenkung notwendigen Sägezahngenerator.
Üblicherweise kommt eine Sägezahnspannung durch langsames Auf- und schnelles Entladen einer Kapazität zustande. Wird dabei ein Kondensator über einen Widerstand geladen, so entsteht eine exponentiell ansteigende Spannung, die zur Horizontalablenkung ungeeignet ist. Zur Linearisierung des Ladestroms für den frequenzbestimmenden Kondensator (C 2 . . . C 6) wird nun in Schaltung 4 anstatt eines Widerstandes ein Transistor (T 3) benutzt. An seiner Basis steht über den Spannungsteiler R 8/R 9 eine konstante Spannung, die gemeinsam mit dem Emitterwiderstand R 6 + R 7 den Ladestrom für die Kapazität bestimmt. Zur groben Frequenzeinstellung dient S 1, die Feineinstellung wird an R 7 vorgenommen.
Die Entladung übernimmt die Kippstufe T 1/T 2. Wenn sich eine der mit S 1 gewählten Kapazitäten aufzuladen beginnt, ist T 1 geöffnet, T 2 geschlossen. Wegen der ansteigenden Ladung des Kondensators erhöht sich auch die Emitterspannung von T 2 und zwar so lange, bis ein Strom zu fließen beginnt und an R 5 ein geringer Spannungsabfall auftritt. Diese Potentialverschiebung gelangt über C 1 zur Basis von T 1. Dieser Transistor wird gesperrt und wegen der galvanischen Verkopplung öffnet T 2 schlagartig. Nun kann sich der frequenzbestimmende Kondensator über T 2 und R 5 entladen. T 1 öffnet und der beschriebene Vorgang beginnt von neuem. Am Emitter von T 2 entsteht eine Sägezahnspannung, die sich mit Hilfe von S 1 und R 7 stufenlos zwischen 10 Hz und 200 kHz variieren läßt. Ausschlaggebend für das einwandfreie Arbeiten der Schaltung ist die Bemessung der Spannungsteiler R 1/R 2 und R 8/R 9. Sollte die Anordnung nicht zufriedenstellend schwingen, so sind diese Widerstände zu überprüfen und evtl. durch Trimmpotis zu ersetzen.

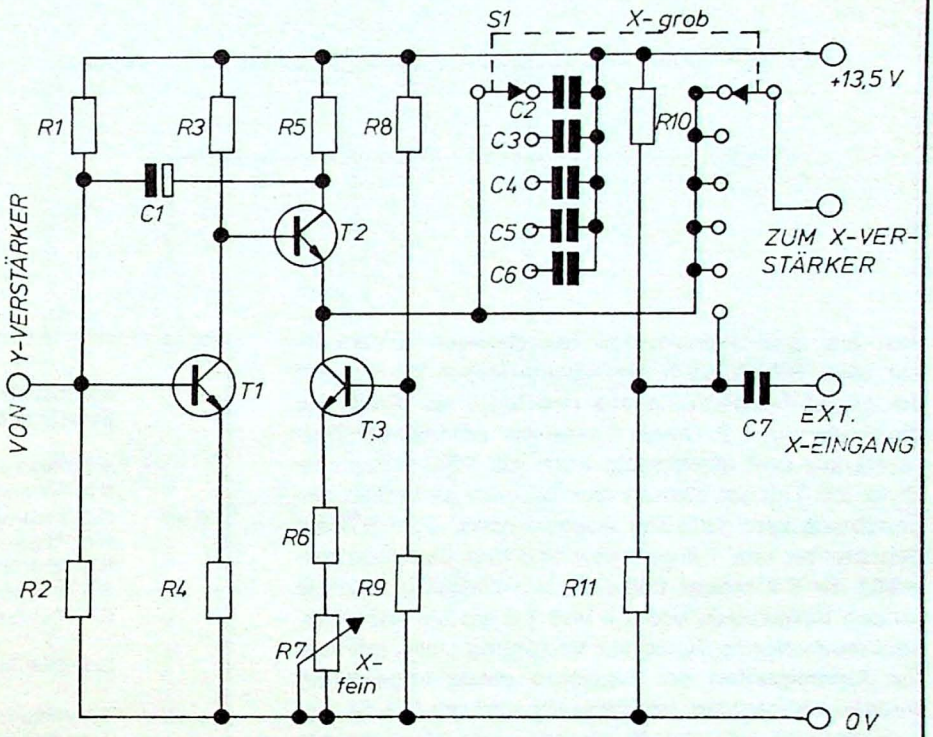
Einzelteilliste
Schaltung 4

R 1 Widerstand 36 kΩ
R 2 Widerstand 4,3 kΩ
R 3 Widerstand 1,8 kΩ
R 4 Widerstand 220 Ω
R 5 Widerstand 100 Ω
R 6 Widerstand 10 kΩ
R 7 Potentiometer 100 kΩ
R 8 Widerstand 82 kΩ
R 9 Widerstand 82 kΩ
R 10 Widerstand 100 kΩ
R 11 Widerstand 100 kΩ

C 1 Elko 10 µF
C 2 Kondensator 10 µF
C 3 Kondensator 1 µF
C 4 Kondensator 0,1 µF
C 5 Kondensator 10 nF
C 6 Kondensator 1 nF
C 7 Kondensator 1 µF/63 V

T 1 NPN-Transistor BC 108 C
T 2 NPN-Transistor BC 108 C
T 3 NPN-Transistor BC 108 C

S 1 Schalter 2 x 6



Schaltung 5: X-Verstärker

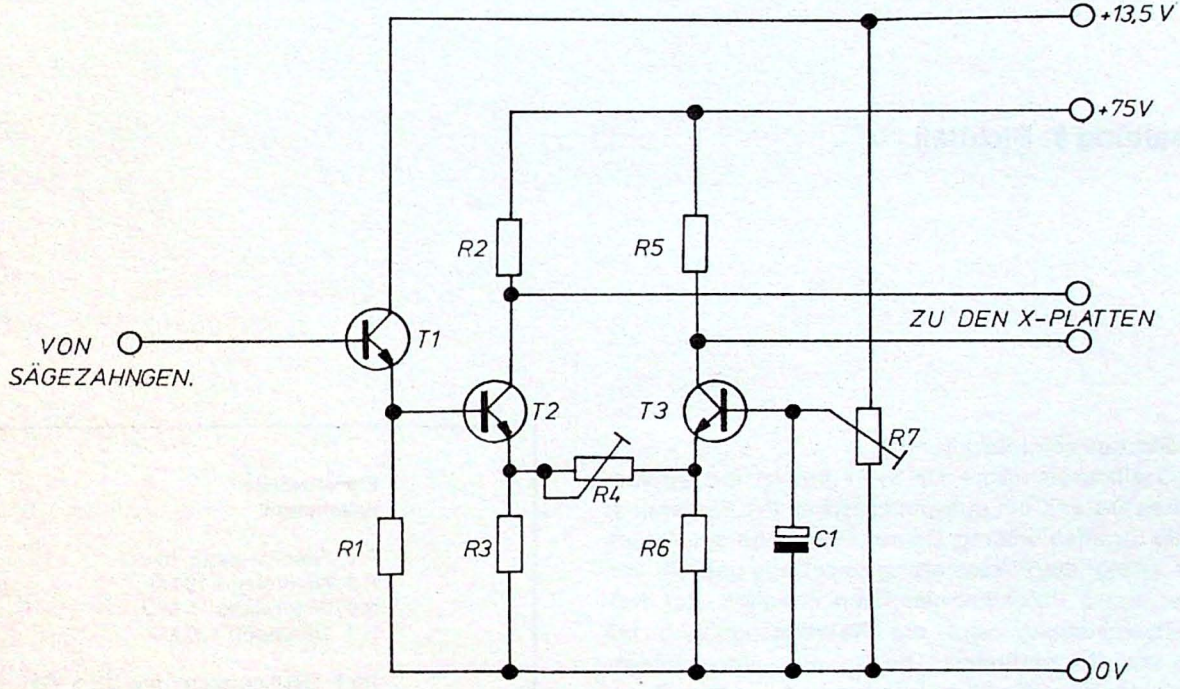
Den aus drei Transistoren bestehenden X-Verstärker zeigt Schaltung 5. Der Emitterfolger T 1 koppelt die Sägezahnspannung aus und leitet sie direkt auf die Basis von T 2. Dieser Transistor arbeitet als Endverstärker und gleichzeitig auch als Phasenumkehrstufe. Ein Teil des Signals wird nämlich im Emitter gegenphasig zum Kollektor ausgekoppelt, über R 4 auf den Emitter von T 3 gegeben und hier ebenfalls verstärkt. In T 3 erfolgt keine Phasendrehung, weshalb an den Kollektoren von T 2 und T 3 ein um 180° phasenverschobenes Signal zur Verfügung steht, mit dem die Ablenkplatten der Bildröhre direkt angesteuert werden können. Die Verstärkung wird mit R 4 so eingestellt, daß sich der Elektronenstrahl über die gesamte Bildschirmbreite auslenken läßt. Die X-Lage (Horizontalverschiebung) kann man mit R 7 einstellen.

Einzelteilliste
Schaltung 5

R 1 Widerstand 10 kΩ
R 2 Widerstand 7,5 kΩ/½ W
R 3 Widerstand 3,6 kΩ
R 4 Regler 2,5 kΩ
R 5 Widerstand 7,5 kΩ/½ W
R 6 Widerstand 1 kΩ
R 7 Trimmpoti 100 kΩ

C 1 Elko 50 µF

T 1 NPN-Transistor BC 108 C
T 2 NPN-Transistor BSY 55 oder BF 178
T 3 NPN-Transistor BSY 55 oder BF 178


+13,5 V
+75V
R2
R5
ZU DEN X-PLATTEN
VON
SÄGEZAHNGEN.
T1
T2
T3
R7
R4
R1
R3
R6
C1
0V

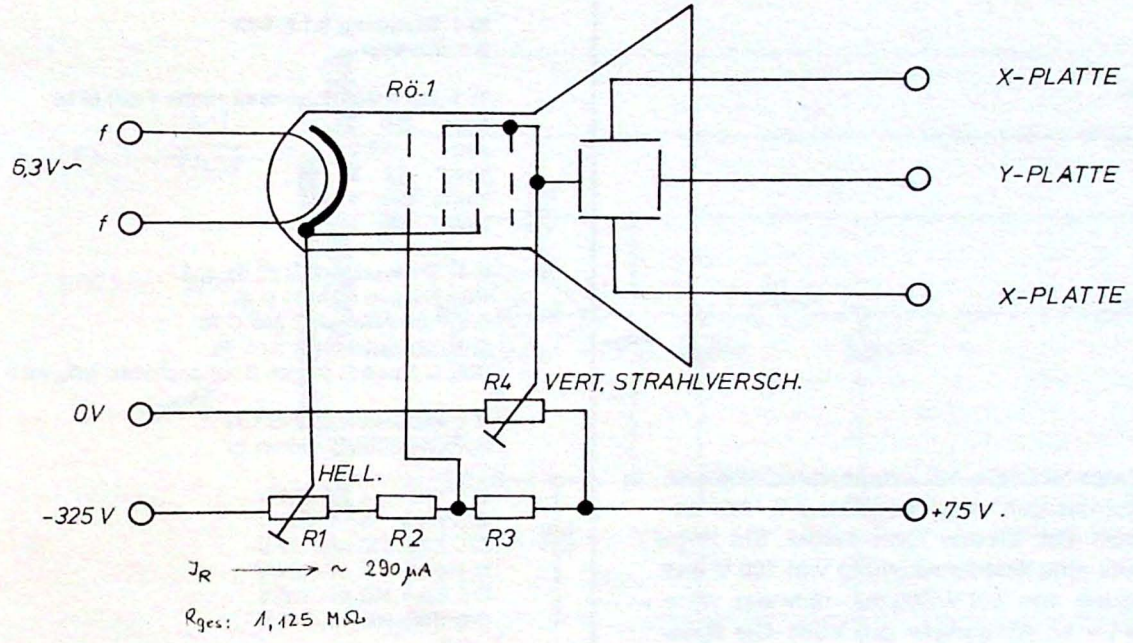
Schaltung 6: Sichtteil

Das Sichtteil zeigt Schaltung 6.
Die Oszillografenröhre DH 3–91 besitzt ein symmetrisches (X) und ein unsymmetrisches (Y) Plattenpaar für die Strahlablenkung. Da das Gitter 3 an der Katode liegt, erfolgt die Fokussierung selbsttätig und ein entsprechendes Potentiometer kann entfallen. Zur Helligkeitseinstellung wird die Katodenspannung mit Hilfe von R 1 verändert. Die weiteren Versorgungsspannungen für die Bildröhre kommen aus dem Spannungsteiler R 1 . . . R 4. Mit R 4 läßt sich der Elektronenstrahl in vertikaler Richtung verschieben.

Einzelteilliste
Schaltung 6

R 1 Potentiometer 10 kΩ
R 2 Widerstand 15 kΩ
R 3 Widerstand 1 MΩ
R 4 Trimmpoti 100 kΩ

Rö 1 Oszillografenröhre DH 3–91


Rö.1
f
6,3V~
f
X-PLATTE
Y-PLATTE
X-PLATTE
R4
VERT. STRAHLVERSCH.
0V
HELL.
-325 V
R1
R2
R3
+75 V.
J_R ~ 290 µA
R_{ges}: 1,125 MΩ

Schaltung 7: Netzteil

Das Schaltbild des Netzteils mit seinen verschiedenen Versorgungsspannungen zeigt Schaltung 7. Am besten wickelt man sich diesen Trafo selbst. Ein Kern M 55, der bereits eine Anodenwicklung von 100 V und eine Heizwicklung von 6,3 V/300 mA aufweist wäre ideal geeignet (~ 13 Windungen pro Volt). Die Restwicklungen lassen sich dann noch bequem unterbringen. Eine Stabilisierung ist nicht erforderlich, sieht man von den zwei Zenerdioden in der Versorgungsleitung für die Vorstufen ab.

Einzelteilliste
Schaltung 7

Si 1 Sicherung 0,1 A flink
S 1 Schalter

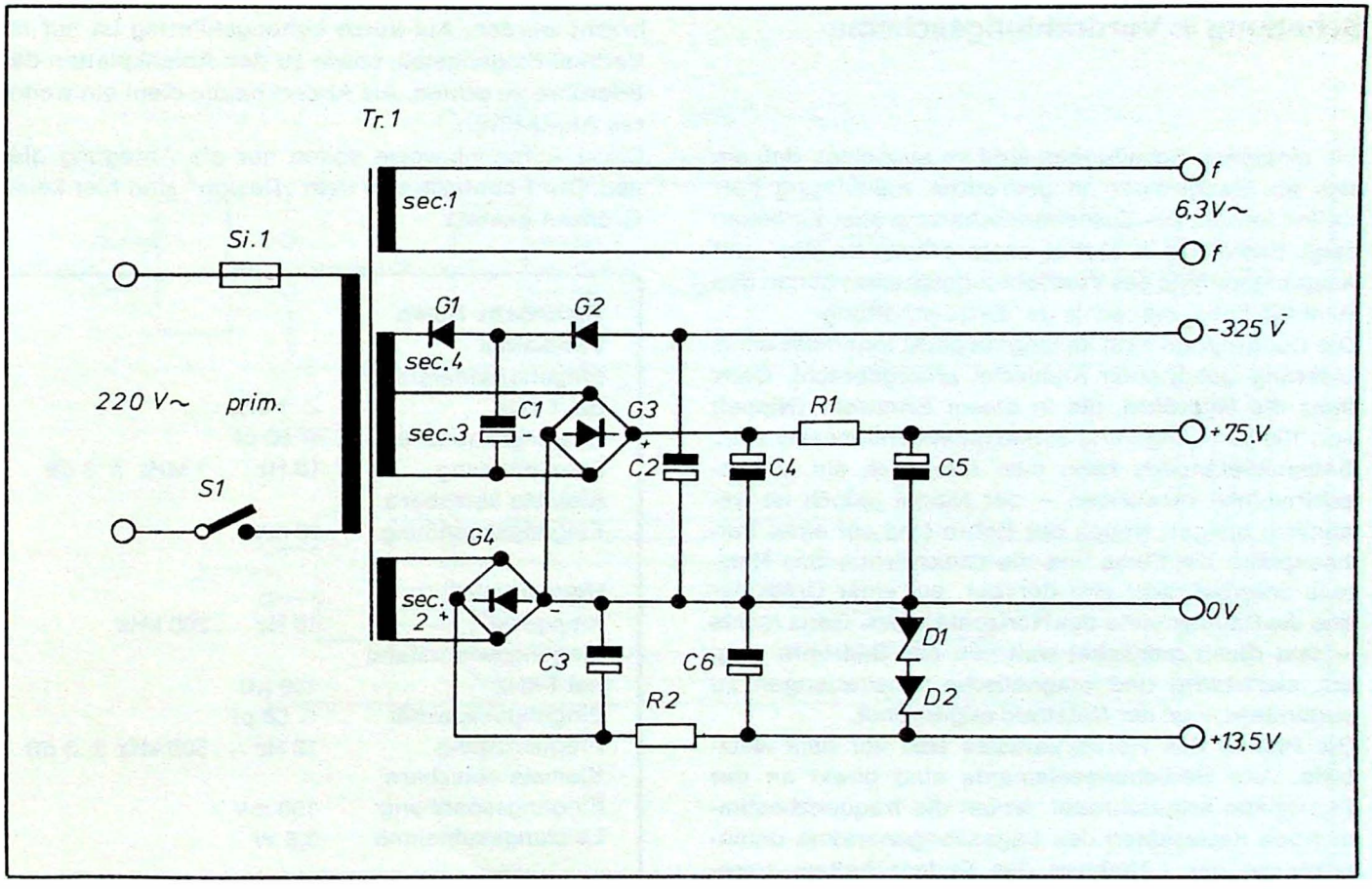
Tr 1 Netztrafo (Eigenbau, siehe Text) M 55
prim 220 V
sec 1 6,3 V
sec 2 12 V
sec 3 100 V
sec 4 150 V

G 1 Siliziumdiode BYY 91 o. ä.
G 2 Silizium BYY 91 o. ä.
G 3 Gleichrichter B 250 C 75
G 4 Gleichrichter B 30 C 75
(Für G 3 und G 4 auch Siliziumdioden möglich!)

R 1 Widerstand 3,9 k/1 W
R 2 Widerstand 560/½ W

C 1 Elko 4 µF/350 V
C 2 Elko 4 µF/350 V
C 3 Elko 100 µF/ 20 V
C 4 Elko 8 µF/100 V
C 5 Elko 100 µF/100 V
C 6 Elko 500 µF/ 15 V

D 1 Zenerdiode C6V8
D 2 Zenerdiode C6V8


Tr.1
sec.1
Si.1
f
6,3V~
f
G1
G2
-325 V
sec.4
220 V~ prim.
C1
G3
R1
sec.3
+75.V
C2
C4
C5
S1
G4
sec.
2
0V
D1
C3
C6
D2
R2
+13,5V

Schaltung 8: Verdrahtungsschema

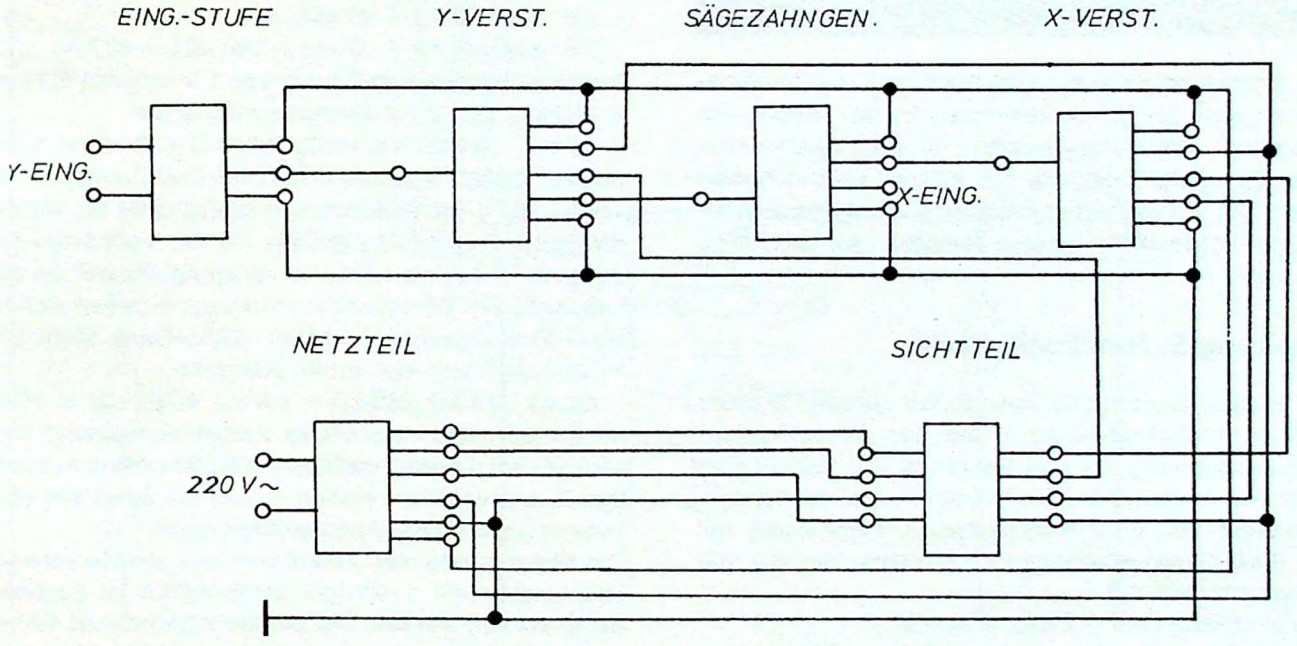
Die einzelnen Schaltungen sind so ausgelegt, daß sie sich als Baugruppen in gedruckter Ausführung herstellen lassen. Die Zusammenschaltung aller Einheiten zeigt Schaltung 8. Dabei entsprechen die Ein- und Ausgangspunkte des Verdrahtungsschemas genau den Punkten links und rechts der Einzelschaltung.

Die Baugruppen sind im Originalgerät innerhalb eines U-förmig gebogenen Alublechs untergebracht. Ganz links die Bildröhre, die in einem Eisenrohr (Nippel) von 100 mm Länge und 35 mm Innendurchmesser sitzt. Selbstverständlich kann man hier auch ein Mu-Abschirmblech verwenden – der Nippel jedoch ist wesentlich billiger. Neben der Röhre sind auf einer Pertinaxplatte die Elkos und die Gleichrichter des Netzteils untergebracht und darüber, auf einer Druckplatine die Bauelemente des Horizontalteiles. Ganz rechts – und damit möglichst weit von der Bildröhre weg, um elektrische und magnetische Einstreuungen zu verhindern – ist der Netztrafo angeordnet.

Die Platine des Horizontalteiles sitzt vor dem Netztrafo. Alle Bedienungselemente sind direkt an der Frontplatte angeschraubt, wobei die frequenzbestimmenden Kapazitäten des Sägezahngenerators unmittelbar an den Lötfahnen des Stufenschalters angebracht wurden. Auf kurze Leitungsführung ist nur im Vertikal-Eingangsteil, sowie zu den Ablenkplatten der Bildröhre zu achten. Als Abdeckhaube dient ein weiteres Alu-U-Blech.

Diese Aufbauhinweise sollen nur als Anregung dienen. Der Phantasie und dem „Design" sind hier keine Grenzen gesetzt.

Technische Daten	
Vertikalteil	
Eingangswiderstand bei 1 kHz	$\geqq$ 1 MΩ
Eingangskapazität	$<$ 50 pF
Frequenzgang	10 Hz . . . 1 MHz $\pm$ 3 dB
Kleinste ablesbare Eingangsspannung	10 mV
Horizontalteil	
Kippgerät	10 Hz . . . 200 kHz
Eingangswiderstand bei 1 kHz	150 kΩ
Eingangskapazität	$<$ 50 pF
Frequenzgang	10 Hz . . . 500 kHz $\pm$ 3 dB
Kleinste ablesbare Eingangsspannung	150 mV
Leistungsaufnahme	3,5 W


EING.-STUFE
Y-VERST.
SÄGEZAHNGEN.
X-VERST.
Y-EING.
X-EING.
NETZTEIL
SICHTTEIL
220 V~

2. Transistor-Millivoltmeter

Viele Amateure scheuen den Nachbau von Millivoltmetern, weil die Bauanleitungen in der Regel mit „krummen" Widerstandswerten in den Spannungsteilern ausgelegt sind, die nur schwer zu beschaffen sind. In der vorliegenden Schaltung wurde nach einer Möglichkeit gesucht, diesem Nachteil aus dem Weg zu gehen.

Schaltung 9: Blockschaltbild

Eine Eingangsspannung von 10 mV gelangt — vom Vorteiler unabgeschwächt — auf den Vorverstärker, der die Spannung um den Faktor 10 auf 100 mV verstärkt. Am Ausgang des Verstärkers wird nun im Zwischenteiler der 2-kΩ-Widerstand in Verbindung mit dem 3-kΩ-Abschlußwiderstand wirksam, der die 100 mV herunterteilt auf

$0{,}1\ V \cdot 3\ k\Omega : (3\ k\Omega + 2\ k\Omega) = 60\ mV.$

Beim nächsten Schaltschritt von S 1b wird eine Eingangsspannung von 30 mV auf 300 mV verstärkt und vom nun wirksamen 12-kΩ-Widerstand wiederum auf eine Spannung

$0{,}3\ V \cdot 3\ k\Omega : (3\ k\Omega + 12\ k\Omega) = 60\ mV$

reduziert. Dieselbe Ausgangsspannung von 60 mV ergibt sich auch bei Eingangsspannungen von 100 und 300 mV.

$1\ V \cdot 3\ k\Omega : (3\ k\Omega + 47\ k\Omega) =$

$3\ V \cdot 3\ k\Omega : (3\ k\Omega + 47\ k\Omega + 100\ k\Omega) = 60\ mV.$

Bei einer Eingangsspannung von 1 V schaltet S 1a auf Stellung 2. Diese 1 V werden zunächst auf

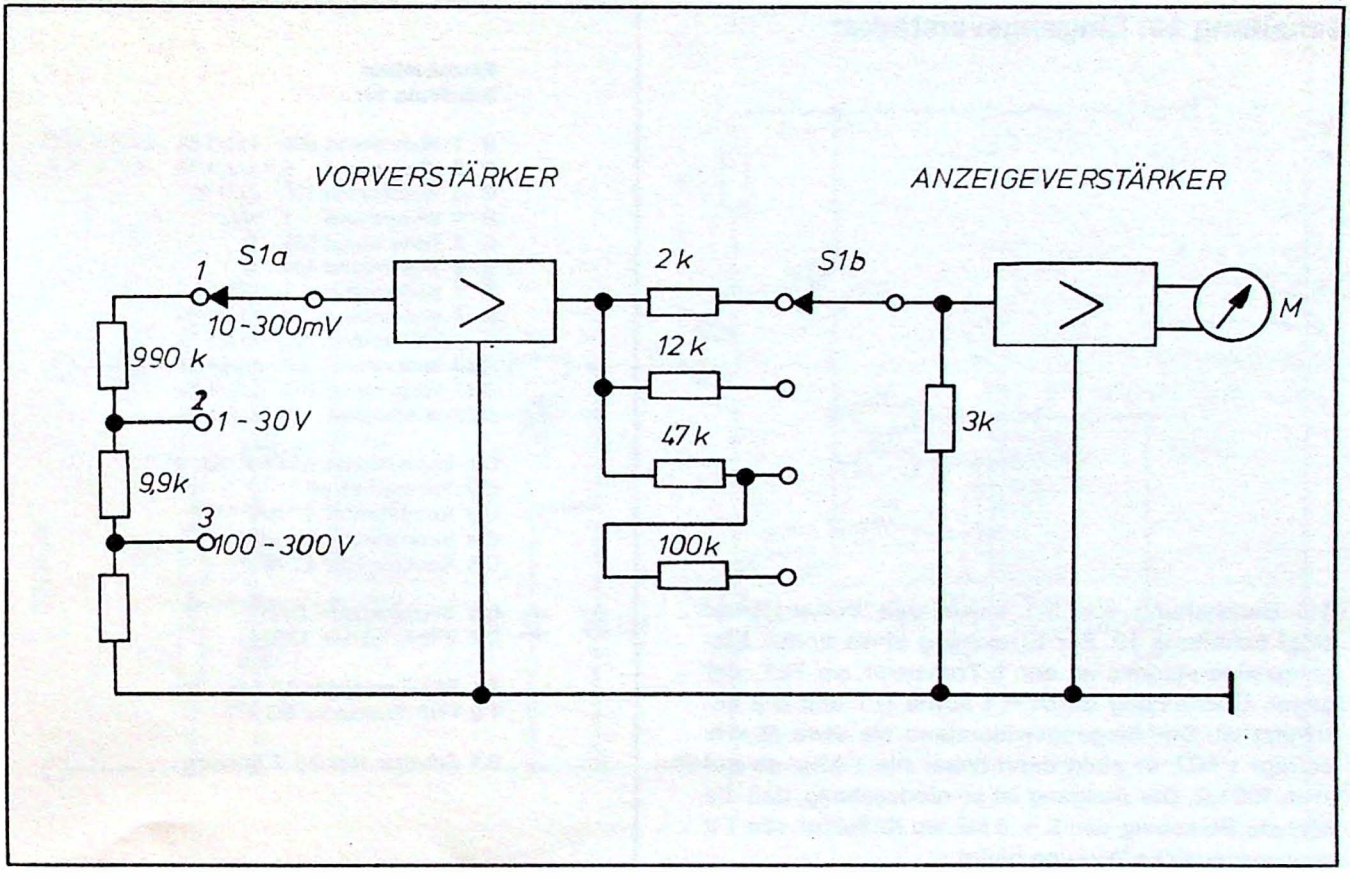
$10^3 mV \cdot (9{,}9\ k\Omega + 0{,}1\ k\Omega) : (990\ k\Omega + 10\ k\Omega = 10\ mV$

abgeschwächt. Nachdem aber im Zwischenteiler nun wieder der 2-kΩ-Widerstand eingeschaltet ist, verläuft die Spannungsteilung so, als ob am Verstärker-Eingang nur 10 mV stünden. Am Ausgang erscheinen also wieder 60 mV. Dieselben Verhältnisse ergeben sich bei einer Eingangsspannung von 100 V. Dann steht S 1a in Stellung 3 und man erhält ebenfalls

$10^5 mV \cdot 0{,}1\ k\Omega\ (990\ k\Omega + 9{,}9\ k\Omega + 0{,}1\ k\Omega) = 10\ mV$

am Eingang des Verstärkers. Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß stets max. 60 mV am Ausgang des Zwischenteilers stehen — und die bewirken eben Vollausschlag beim Anzeigeinstrument.

Die Widerstände des Zwischenteilers sind Normwerte und können mit 1—2%iger Genauigkeit im Fachhandel erworben werden. Die beiden Widerstände 990 kΩ und 9,9 kΩ liegen nicht innerhalb der Normreihe. Doch deshalb muß man nicht gleich verzagen: Der Wert 990 kΩ ergibt sich durch Parallelschalten von 2,2 MΩ und 1,8 MΩ, 9,9 kΩ durch Parallelschalten von 22 kΩ und 18 kΩ.


VORVERSTÄRKER
ANZEIGEVERSTÄRKER
S1a
S1b
1
10 - 300mV
990 k
2
1 - 30V
9,9k
3
100 - 300V
2k
12 k
47 k
100k
3k
M

Schaltung 10: Eingangsverstärker

R_1 = 800 + 150 + 40 K 1%
R_2 = 22 ‖ 18 K 2%
R_3 =
R_8 = 2,05 k 1/2%
R_9 =
R_{10} = 47 k 2%
R_{11} = 200 ‖ 200 k 1%
R_{12} = 3k 1%

Die Beschaltung von S 1 sowie den Vorverstärker zeigt Schaltung 10. Zur Erreichung eines hohen Eingangswiderstandes ist der 1. Transistor ein FET, der gegen Überlastung durch R 4 sowie D 1 und D 2 geschützt ist. Der Eingangswiderstand bis etwa 50 kHz beträgt 1 MΩ, er sinkt dann linear bis 1 MHz ab auf etwa 100 kΩ. Der Ausgang ist so niederohmig, daß die höchste Belastung von 2 + 3 kΩ am Kollektor von T 2 ohne wesentliche Wirkung bleibt.

Einzelteilliste
Schaltung 10:

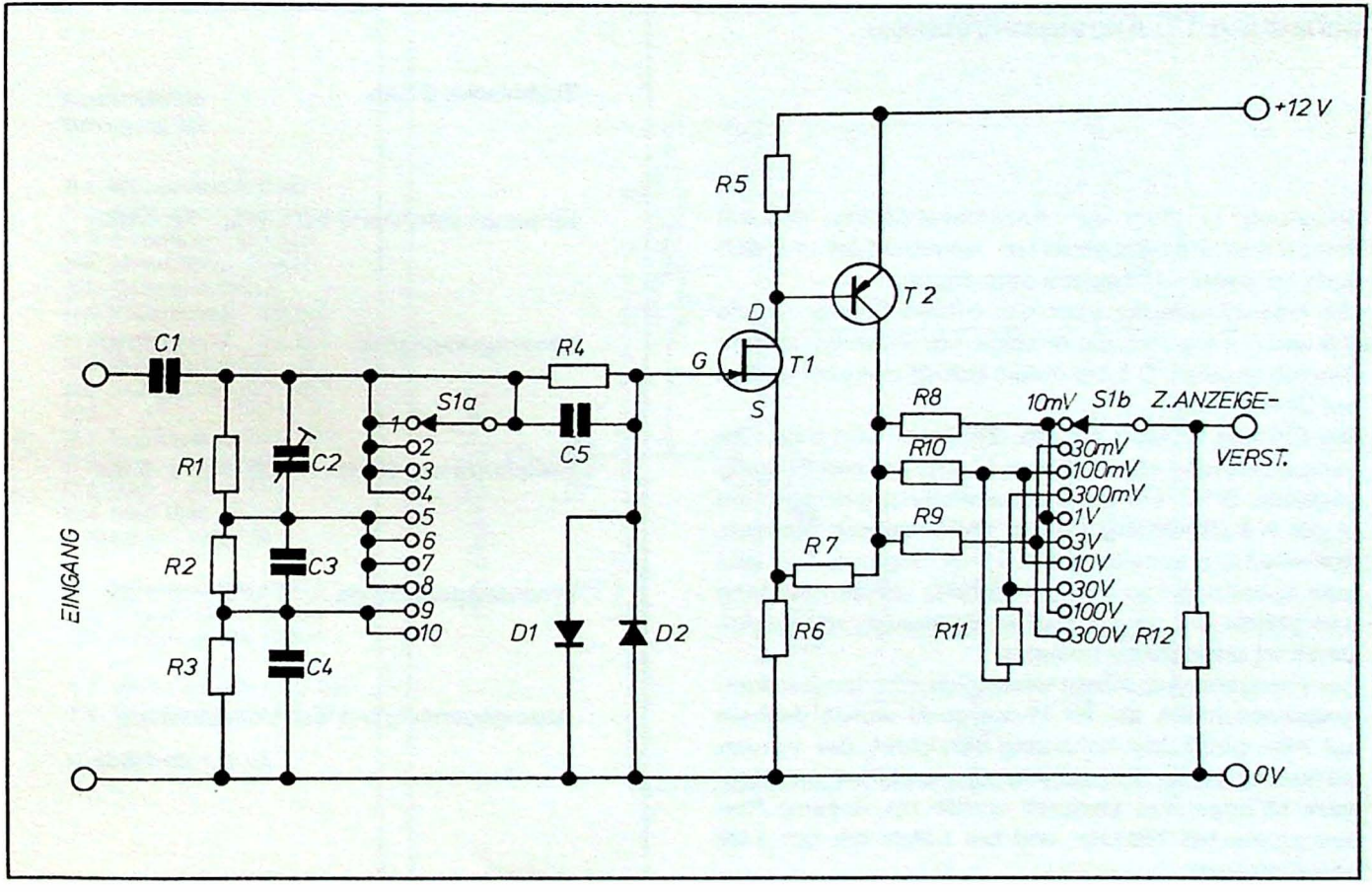
R 1	Widerstand	990	kΩ/1 %	2,2 M ‖ 1,8 M
R 2	Widerstand	9,9	kΩ/1 %	22 K ‖ 18 K
R 3	Widerstand	100	Ω/1 %	
R 4	Widerstand	1	MΩ	
R 5	Widerstand	560	Ω	
R 6	Widerstand	100	Ω	
R 7	Widerstand	1	kΩ	
R 8	Widerstand	2	kΩ/1 %	
R 9	Widerstand	12	kΩ/1 %	
R 10	Widerstand	47	kΩ/1 %	
R 11	Widerstand	100	kΩ/1 %	
R 12	Widerstand	3	kΩ/1 %	

C 1 Kondensator 0,47 µF/300 V
C 2 Trimmer 25 pF
C 3 Kondensator 1 nF
C 4 Kondensator 0,1 µF
C 5 Kondensator 4,7 nF

D 1 Siliziumdiode 1N914
D 2 Siliziumdiode 1N914

T 1 FET-Transistor BF 245
T 2 PNP-Transistor BC 177

S 1 Schalter 10polig/2 Ebenen


+12 V
R5
T 2
D
C1
R4
G
T1
S
S1a
R8
10mV
S1b
Z.ANZEIGE-
VERST.
R10
30mV
100mV
300mV
1V
3V
10V
30V
100V
300V
R9
R7
R1
C2
C5
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
R2
C3
EINGANG
D1
D2
R6
R11
R12
R3
C4
0V

Schaltung 11: Anzeigeverstärker

Schaltung 11 zeigt den Anzeigeverstärker, der mit komplementären Transistoren aufgebaut ist und sich auch für andere Anzeigezwecke eignet.
Die Gegenkopplung über die beiden Emitter, sowie C 5 und R 9 machen die Anzeige, vor allem im unteren Bereich linearer. D 1 dient dem Schutz des Meßwerkes bei Überlastung.
Die Eichung ist sehr einfach. Zunächst wird eine Eingangsspannung von 10 mV und 1 kHz auf den Eingang gegeben, S 1 in die erste Schaltstellung gebracht und M mit R 5 (Schaltung 11) auf Vollausschlag geregelt. Anschließend schaltet man S 1 in Stellung 1 V, gibt eine Spannung von 1 V und 500 kHz auf den Eingang und gleicht C 2 so ab, daß M Vollausschlag anzeigt. Damit ist die Eichung beendet.
Der Frequenzgang hängt wesentlich von den Verdrahtungskapazitäten ab. Im Mustergerät wurde deshalb auf eine gedruckte Schaltung verzichtet, der Vorverstärker direkt an S 1, der Anzeigeverstärker am Meßwerk M angelötet. Dadurch wurde ein linearer Frequenzgang bis 750 kHz, und bis 1 MHz mit nur 1 dB Abfall erreicht.

Technische Daten

Eingangswiderstand bei 1 kHz	$\geqq$ 1 MΩ
Eingangskapazität	$\leqq$ 30 pF
Frequenzgang 30 Hz . . . 500 kHz	± 0 dB
Frequenzgang 10 Hz . . . 1 MhZ	± 1 dB
Anzeigegenauigkeit bei Vollausschlag	± 1,5 %

Einzelteilliste
Schaltung 11:

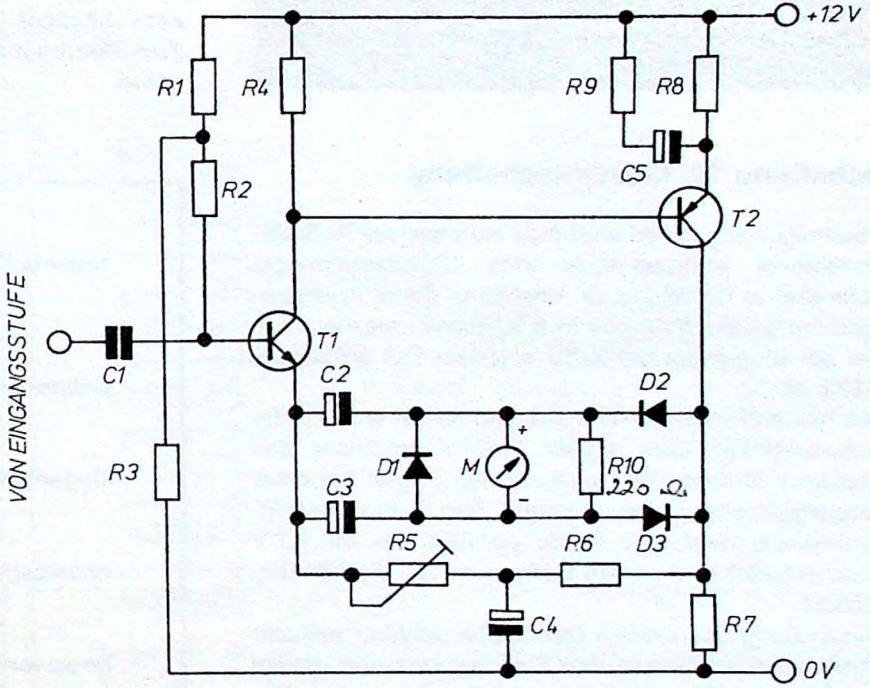
R 1 Widerstand 270 kΩ
R 2 Widerstand 270 kΩ
R 3 Widerstand 330 kΩ
R 4 Widerstand 10 kΩ
R 5 Trimmpoti 200 Ω
R 6 Widerstand 3,9 kΩ
R 7 Widerstand 1,2 kΩ
R 8 Widerstand 390 Ω
R 9 Widerstand 100 Ω
R 10 Widerstand 220 Ω

C 1 Kondensator 0,47 µF
C 2 Elko 47 µF/3 V
C 3 Elko 47 µF/3 V
C 4 Elko 1000 µF/6 V
C 5 Elko 47 µF/3 V

D 1 Siliziumdiode 1N914
D 2 Siliziumdiode 1N914
D 3 Siliziumdiode 1N914

T 1 NPN-Transistor BC 108
T 2 PNP-Transistor BC 177

M Meßwerk 100 µA



3. FET-Gleichspannungsvoltmeter

Schaltung 12: Gesamtschaltung

Ebenfalls völlig mit Widerstands-Normwerten im Spannungsteiler aufgebaut ist das Gleichspannungsvoltmeter in Schaltung 12. Man kann damit Spannungen von 0,5 bis 1000 Volt in 8 Bereichen messen, wobei der Eingangswiderstand in jedem Fall größer als 3 MΩ ist.

Die beiden Feldeffekt-Transistoren bilden einen Differenzverstärker, über dessen Drain-Anschlüssen das Meßwerk M liegt. Der Vollausschlag erfolgt bei einer Eingangsspannung von 500 mV. Zum Schutz des Instrumentes liegt eine Diode parallel, die bei 0,7 V durchschaltet und so das Instrument vor Überlastung sichert.

Die Eichung des kleinen Gerätes ist denkbar einfach: Zunächst schließt man den Eingang kurz und gleicht mit R 14 auf Null ab. Danach gibt man auf den Eingang eine Gleichspannung von 1 V, schaltet S in den entsprechenden Bereich und regelt mit R 13 den Zeigerausschlag auf die Marke 1 Volt. Nun wird noch einmal der Nullpunkt überprüft und evtl. korrigiert, danach sind dann alle Bereiche geeicht. Zur Vermeidung allzu häufiger Nullpunktdrift kann man die beiden Transistoren auf einem gemeinsamen Kühlblech montieren.

Technische Daten

Meßbereich	0,5 . . . 1000 V in 8 Bereichen
Eingangswiderstand	> 3 MΩ
Anzeigegenauigkeit	± 1,5 %
Stromverbrauch	3 mA

Einzelteilliste
Schaltung 12:

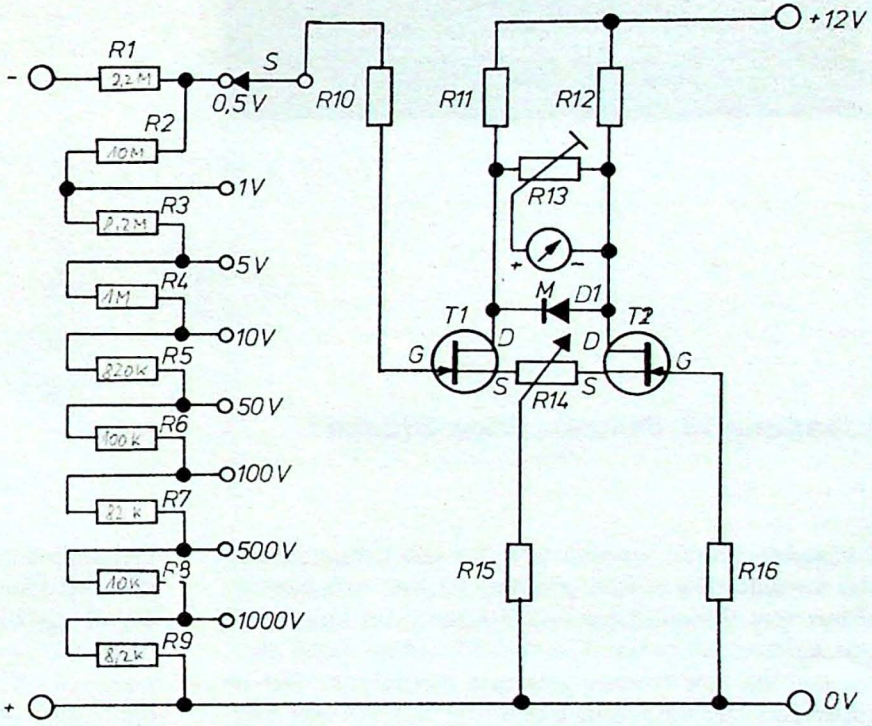
R 1 Widerstand 2,2 MΩ/1 %
R 2 Widerstand 10 MΩ/1 %
R 3 Widerstand 8,2 MΩ/1 %
R 4 Widerstand 1 MΩ/1 %
R 5 Widerstand 820 kΩ/1 %
R 6 Widerstand 100 kΩ/1 %
R 7 Widerstand 82 kΩ/1 %
R 8 Widerstand 10 kΩ/1 %
R 9 Widerstand 8,2 kΩ/1 %
R 10 Widerstand 1 MΩ
R 11 Widerstand 5,1 kΩ
R 12 Widerstand 5,1 kΩ
R 13 Trimmpoti 5 kΩ
R 14 Potentiometer 500 Ω
R 15 Widerstand 1 kΩ
R 16 Widerstand 3,3 MΩ

S Schalter 8polig

T 1 FET BF 245
T 2 FET BF 245

D 1 Diode 1N 914

M Instrument 200 μA

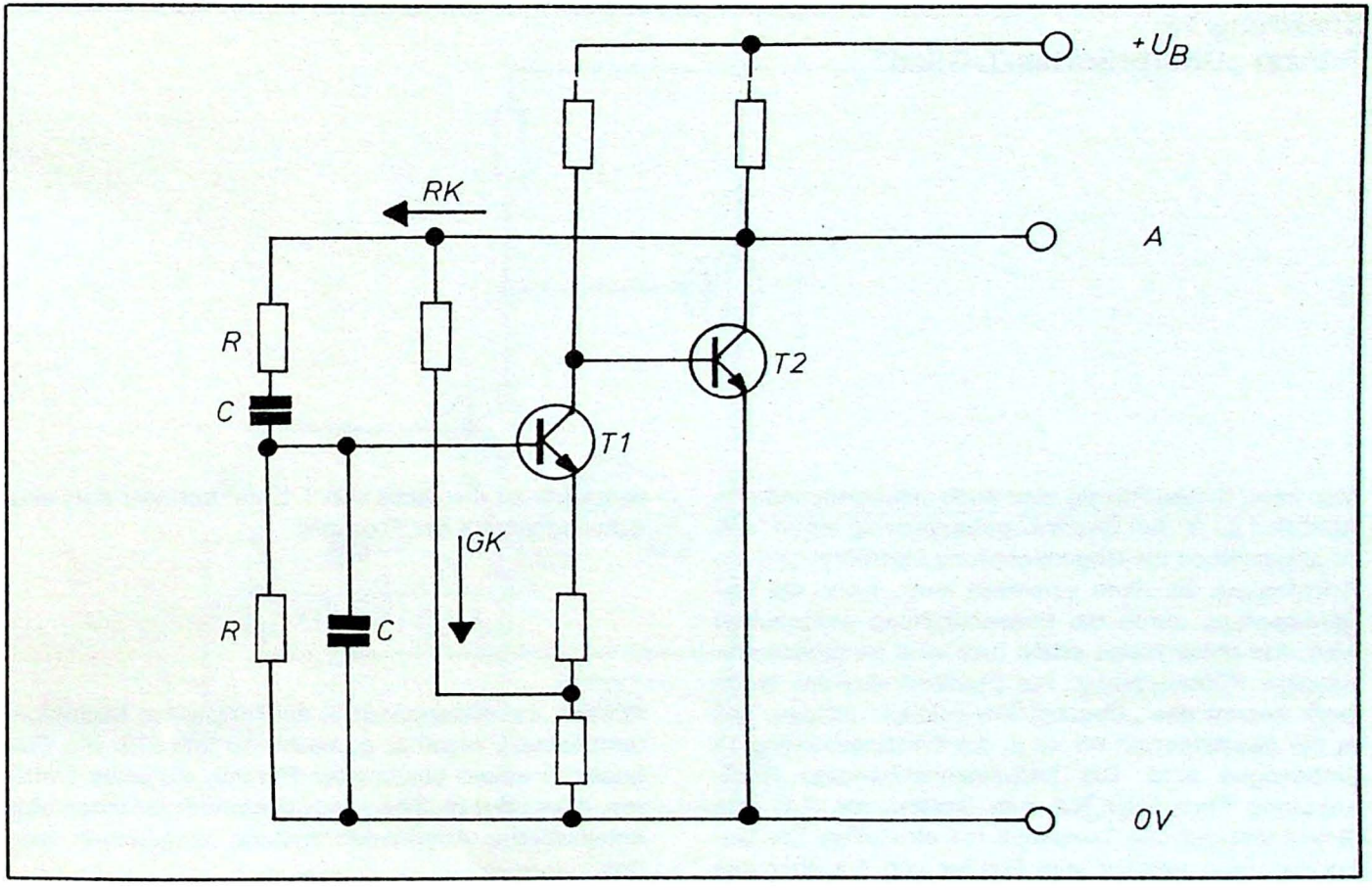


4. Sinus-RC-Generator

Schaltung 13: Prinzip „Wien-Brücke"

Sinusgeneratoren werden u. a. für die Untersuchung von Verstärkern, Filtern und akustischen Anlagen benötigt. Bei Verwendung von Transistoren lassen sie sich auf kleinstem Raum aufbauen, wobei meist auch der Betrieb aus Trockenbatterien möglich ist. Die im folgenden beschriebene Schaltung benutzt als phasendrehendes Netzwerk ein „Überbrücktes T-Glied", das — obwohl selten angewandt — sehr gute Ergebnisse liefert.

Gebräuchliche RC-Generatoren verwenden meist eine Wien-Brücke als frequenzbestimmendes Netzwerk. Dabei gelangt eine Rückkopplungsspannung (RK) über das Serien-RC-Glied vom Ausgang auf den Eingang. Die Schwingung setzt dann ein, wenn die Phasenbedingung erfüllt, d. h. die Rückkopplung am größten ist. Die Gegenkopplungsspannung (GK) liegt in der Regel am Emitter des 1. Verstärkertransistors (Schaltung 13).

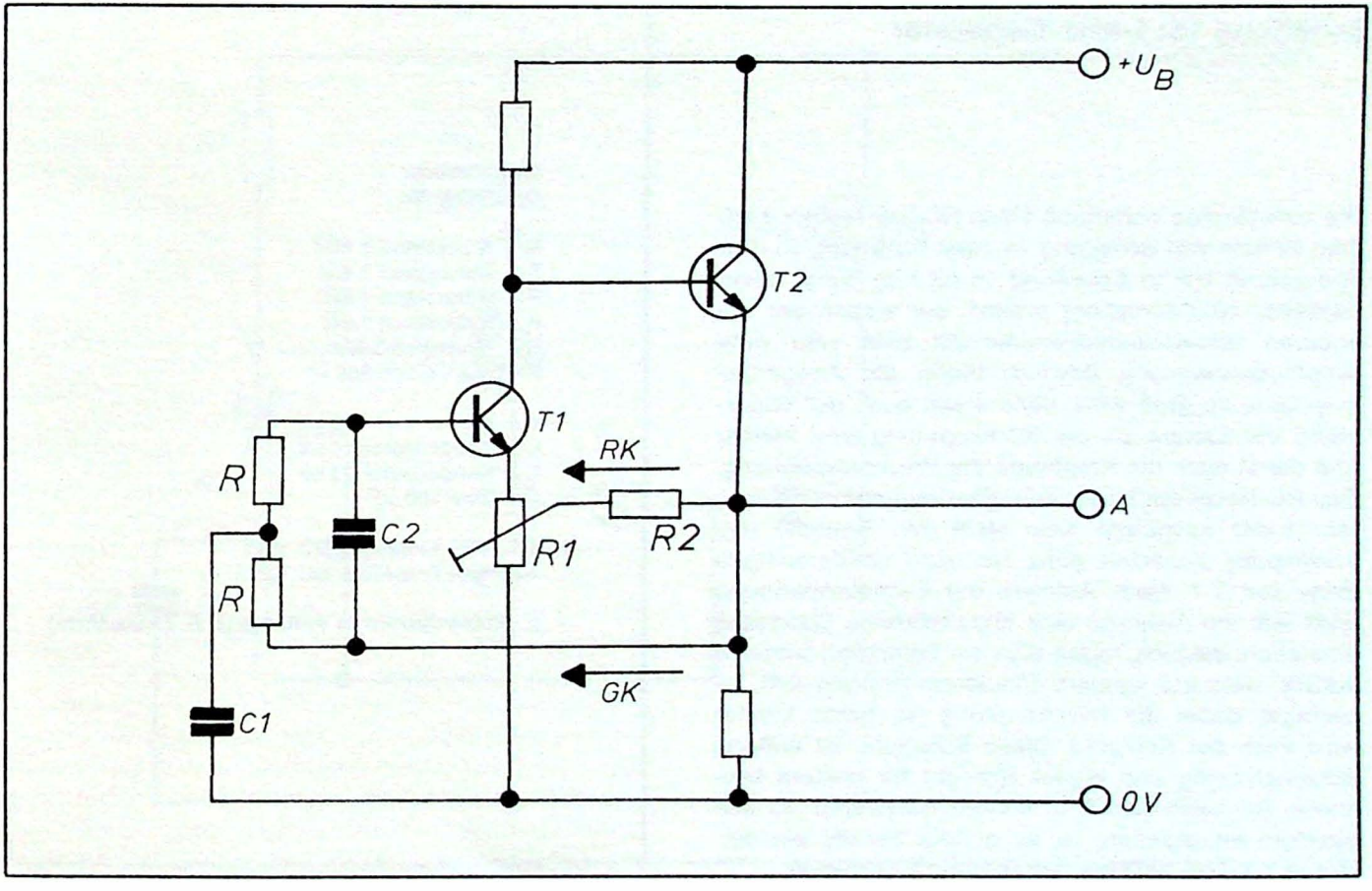

+U_B
RK
A
R
C
T2
T1
GK
R
C
0V

Schaltung 14:
Prinzip „Überbrücktes-T-Glied"

Man kann dieses Prinzip aber auch umkehren und das RC-Glied so in den Gegenkopplungszweig legen, daß im allgemeinen die Gegenkopplung überwiegt und die Schwingung nur dann einsetzen kann, wenn die Gegenkopplung durch die Phasendrehung aufgehoben wird. Auf diese Weise erhält man eine frequenzunabhängige Rückkopplung. Als phasendrehendes Netzwerk kommt das „Überbrückte-T-Glied" infrage, das in der geschilderten Weise in die Prinzipschaltung 14 einbezogen wird. Die frequenzunabhängige Rückkopplung führt über R 2 zum Emitter von T 1. Ihre Größe läßt sich am Trimmpoti R 1 einstellen. Die Gegenkopplung gelangt vom Emitter von T 2 über das Netzwerk an die Basis von T 1 und entfacht dort eine Schwingung mit der Frequenz

$$f = \frac{1}{2\,\pi\,R\,\sqrt{C1 \cdot C2}}\ \text{Hz}$$

Werden die Widerstände R mit Hilfe eines Doppelpotentiometers regelbar gemacht, so läßt sich die Frequenz in einem bestimmten Bereich stufenlos variieren. Allerdings muß dann aus bekannten Gründen eine automatische Amplitudenregelung vorgesehen werden.


+UB
T2
T1
RK
R
C2
R1
R2
A
R
GK
C1
0V

Schaltung 15: 1-kHz-Generator

Die vollständige Schaltung eines RC-Generators nach dem Prinzip von Schaltung 14 zeigt Schaltung 15. Der Widerstand R 2 in Schaltung 14 ist nun durch einen Kaltleiter (Glühbirnchen) ersetzt, der wegen der unlinearen Widerstandscharakteristik eine sehr gute Amplitudenregelung bewirkt. Wenn die Ausgangsamplitude zu groß wird, dann steigt auch der Widerstand der Lampe an, die Rückkopplung wird kleiner und damit auch die Amplitude der Wechselspannung. Das RC-Netzwerk ist für eine Festfrequenz von ungefähr 1 kHz ausgelegt. Man stellt den Schleifer des Trimmpotis zunächst ganz hin zum emitterseitigen Ende von T 1. Nach Anlegen der Betriebsspannung wird sich am Ausgang eine impulsförmige Spannung einstellen, die sich, regelt man am Trimmpoti langsam zurück, bald auf saubere Sinusform bringen läßt. Je geringer dabei die Rückkopplung ist, desto kleiner wird auch der Klirrgrad. Diese Schaltung ist äußerst schwingfreudig und eignet sich gut für weitere Versuche. So kann man z. B. andere Netzwerke als das gezeigte anschließen, ja, es genügt bereits ein einfaches T-Glied, um eine Schwingung zu erhalten.

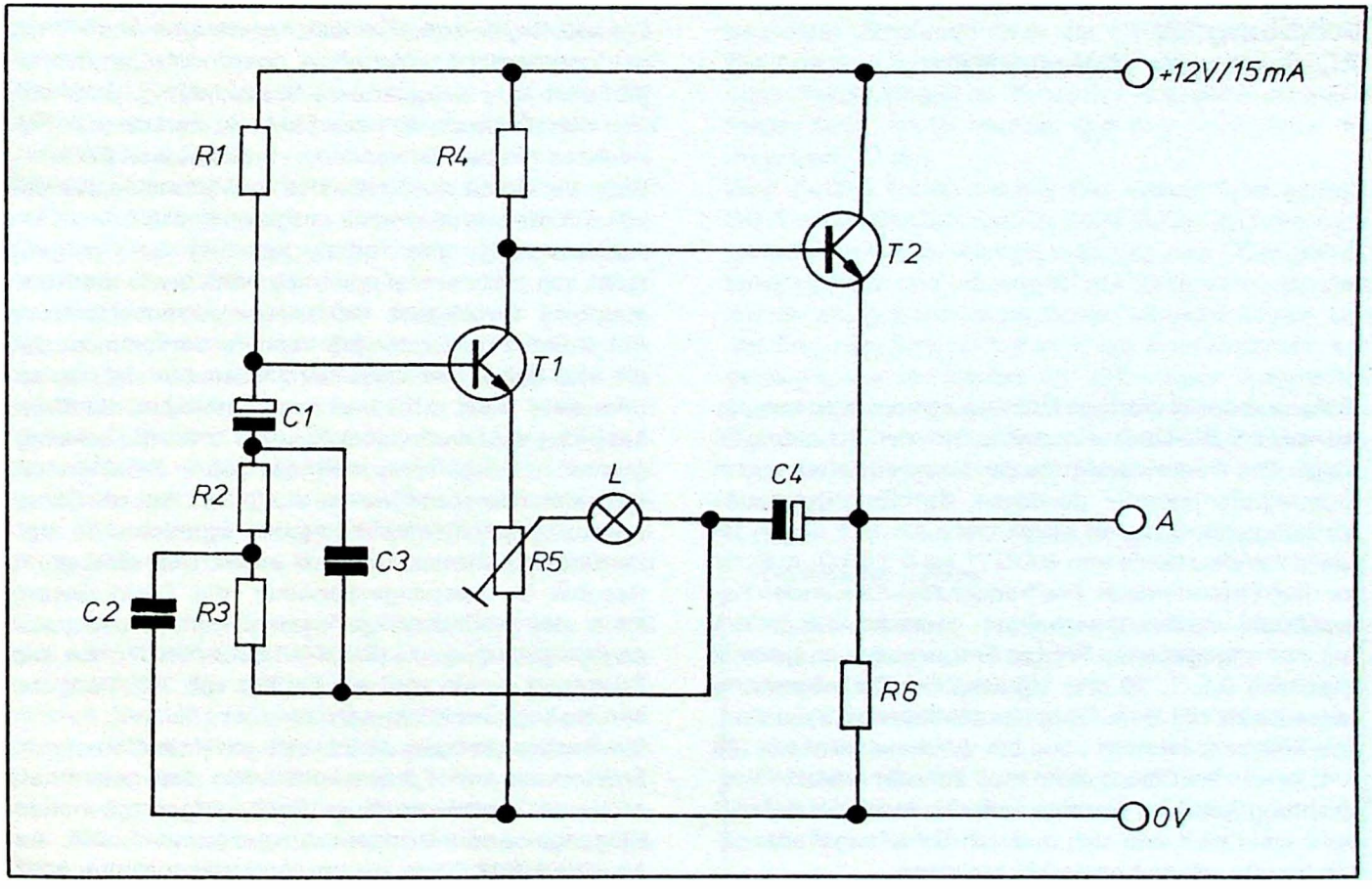
Einzelteilliste
Schaltung 15:

R 1 Widerstand 1 MΩ
R 2 Widerstand 1 kΩ
R 3 Widerstand 1 kΩ
R 4 Widerstand 1 kΩ
R 5 Trimmpoti 1 kΩ
R 6 Widerstand 560 Ω

C 1 Elko 10 µF
C 2 Kondensator 1 µF
C 3 Kondensator 33 nF
C 4 Elko 100 µF

T 1 NPN-Transistor BC 108
T 2 NPN-Transistor BC 108

L Glühlämpchen 24 V/20 mA (z. B. Taunuslicht)


+12V/15mA
R1
R4
T2
T1
C1
L
C4
R2
A
C3
R5
C2
R3
R6
0V

Schaltung 16:
RC-Generator 10 Hz 0,1 MHz

Aufgrund der bisherigen Überlegungen wurde nun ein kompletter RC-Generator entworfen, den Schaltung 16 zeigt. Die Festwiderstände im Netzwerk sind einem Doppelpotentiometer gewichen. Zur Einengung des Variationsbereichs auf etwas mehr als 10:1 liegen jeweils 2 Widerstände von 800 Ω (1 kΩ II 3,9 kΩ) in Serie zu dem Potentiometer. Die frequenzbestimmenden Kapazitäten wurden umschaltbar gemacht und liefern mit den angegebenen Werten Frequenzen von (jeweils maximal) 0,1, 1, 10 und 100 kHz. Die Zwischenwerte lassen sich mit dem Doppelpotentiometer einstellen. Die Frequenz ist nach oben hin durchaus nicht auf 100 kHz beschränkt, doch dann muß auf sehr saubere Verdrahtung geachtet werden, weil die Parallel-Kapazität sehr klein wird und sich dadurch Schaltungskapazitäten bereits störend bemerkbar machen.

Für das Doppelpotentiometer wurde eine Ausführung mit logarithmischer Kennlinie verwendet. Dadurch ergibt sich zwar keine lineare Skalenteilung, doch entfällt die „Quetschung" der Skala zu den oberen Frequenzen hin bei Verwendung eines linearen Potis.
Sehr wichtig ist die Größe des Kollektorwiderstandes von T 1. Es wurde bereits ausgeführt, daß bei starker Rückkopplung eine Impulsspannung am Ausgang steht, die erst dann sinusförmig wird, wenn die Rückkopplung zurückgeht. Bei falscher Dimensionierung des Kollektorwiderstandes kann es vorkommen, daß die eine Spitze des Sinus bereits „sauber" ist, die andere aber noch nicht und man deswegen die Rückkopplung sehr weit, vielleicht sogar unter die Schwinggrenze zurücknehmen muß. Mit 330 + 390 Ω ist der Kollektorwiderstand jetzt so ausgelegt, daß die Sinusspannung im Übersteuerungsfall symmetrische Verzerrungen aufweist. Dadurch ergibt sich eine große Reserve an Ausgangsspannung, die Rückkopplung kann sehr weit zurückgenommen werden und damit erniedrigt sich auch der Klirrfaktor. Stellt man das Trimmpoti so ein, daß am Emitter von T 2 1,5 V stehen, so liegt der Klirrgrad weit unter 1 %.
Die Ausgangsamplitude läßt sich am Potentiometer im Emitterkreis von T 2 einstellen. Von dort gelangt sie an einen komplementären Emitterfolger mit hohem Eingangs- und niedrigem Ausgangswiderstand. Auf eine Verstärkerstufe wurde verzichtet, um den Klirr-

grad so niedrig wie möglich zu halten. Die Ausgangsspannung wird einem Kettenteiler entnommen, der Grobabstufungen um 20 dB ermöglicht (1,5 V, 150 mV, 15 mV), und als Quelle einen Widerstandswert von rund 200 Ω aufweist.

Mit dieser Auslegung der Endstufe mußte ein Kompromiß geschlossen werden, denn einerseits sollte der Quellwiderstand relativ niederohmig sein, zum anderen aber die Gesamtstromaufnahme nicht ins Unermeßliche steigen. Bei 200 Ω und einem Stromverbrauch der Endstufe von 43 mA konnten beide Forderungen gerade noch erfüllt werden. Da beinahe der gesamte Endstufenstrom durch T 4 fließt, sollte man diesen Transistor mit einem kleinen Kühlstern versehen. Wird der Ausgangswiderstand etwas höher ausgelegt, so läßt sich die Stromaufnahme natürlich drükken. Die nächstgünstigsten Widerstandswerte, die innerhalb der Normreihe liegen, wären 560 Ω, 620 Ω und 5,1 kΩ.

Vor allem im niedrigsten Frequenzbereich (10 . . . 100 Hz) ist die Schaltung empfindlich gegenüber Spannungsstößen. Sie sollte daher aus einem gut stabilisierten Netzteil mit niedrigem Innenwiderstand versorgt werden. Wenn das Gerät aus Trockenbatterien betrieben wird, empfiehlt es sich, die gesamte Endstufe wegzulassen. Man legt dann einfach einen Elko von 500 µF zwischen Ausgang und den Schleifer des Potentiometers im Emitterkreis von T 2. Bei voll aufgedrehter Amplitude liegt der Widerstand, mit dem der Ausgang belastet werden darf ohne daß sich dadurch Verzerrungen im Generator einstellen, mit 390 Ω immer noch relativ niedrig. Die Stromaufnahme beträgt dann 17 mA.

Zum Aufbau wurde bereits das Wesentliche gesagt. Die frequenzbestimmenden Kapazitäten und die Ausgangswiderstände werden direkt an den Stufenschaltern angelötet und mit möglichst kurzen Verbindungen mit der übrigen Schaltung zusammengeschlossen. Um das Doppelpotentiometer wird die Frequenzskala angebracht, die am besten mit Hilfe eines Vergleichsgenerators zu eichen ist. Wenn die frequenzbestimmenden Kondensatoren eng toleriert sind, decken sich auch die einzelnen Frequenzpunkte bei wechselnden Frequenzbereichen.

Technische Daten:

Frequenzumfang	10 Hz . . . 100 kHz in 4 Stufen
Max. Ausgangsspannung	1,5 V eff.
Amplitudenabweichung zwischen 10 Hz und 100 kHz	≦ ± 0,5 dB
Betriebsspannung	12 V ± 10 %
Stromaufnahme	60 mA
Zul. Umgebungstemperatur	< 65° C
Klirrfaktor bei 1 kHz	< 0,3 %

Einzelteilliste
Schaltung 16:

R 1 Widerstand 1 MΩ
R 2 Widerstand 1 kΩ
R 3 Widerstand 3,9 kΩ
R 4 Widerstand 1 kΩ
R 5 Widerstand 3,9 kΩ
R 6 Widerstand 330 Ω
R 7 Widerstand 390 Ω
R 8 Trimmpoti 1 kΩ
R 9 Potentiometer 500 Ω
R 10 Widerstand 1 MΩ
R 11 Widerstand 1 kΩ
R 12 Widerstand 220 Ω
R 13 Widerstand 2 kΩ
R 14 Widerstand 2 kΩ
R 15 Widerstand 240 Ω
R 16 Widerstand 220 Ω

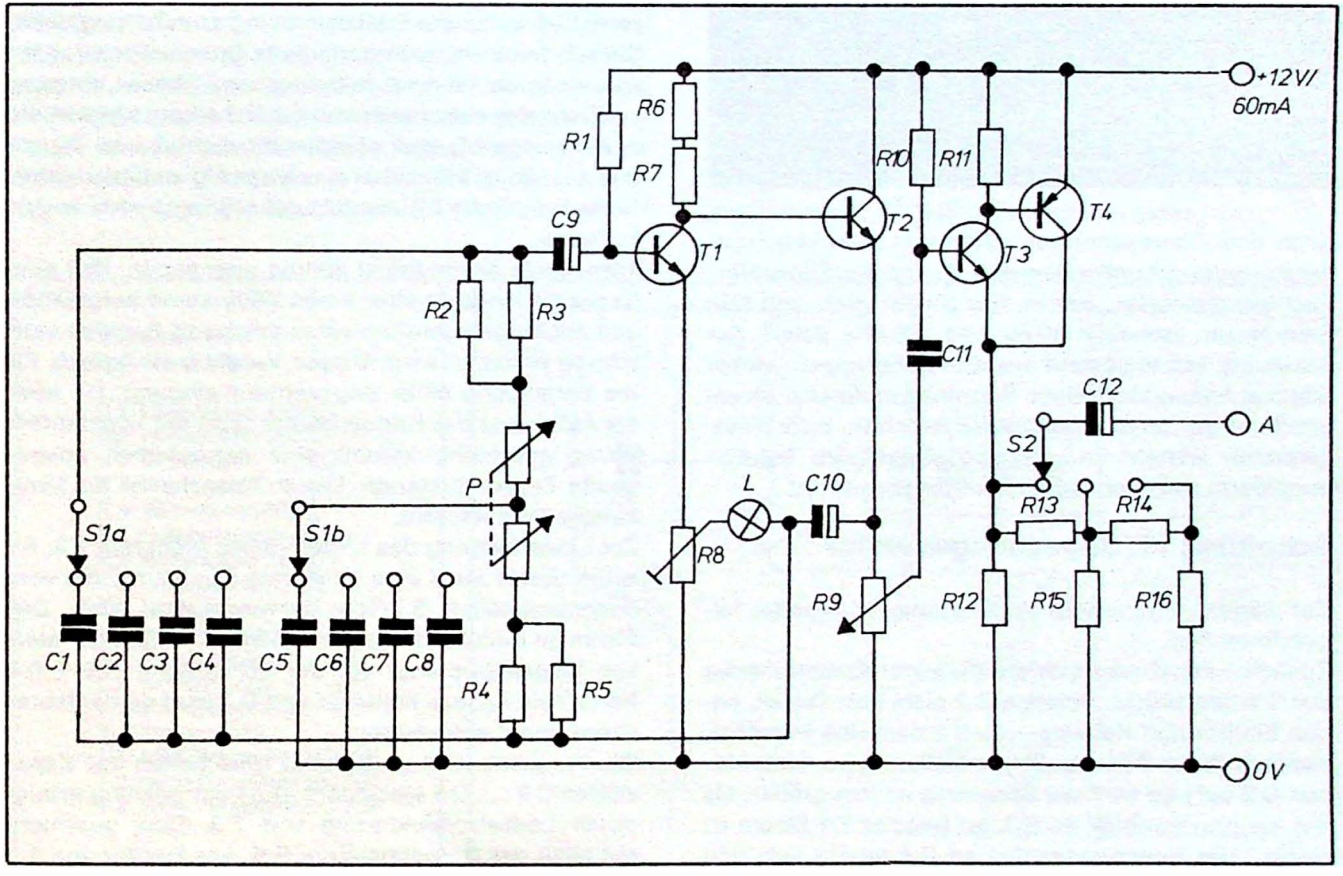
T 1 NPN-Transistor BC 108
T 2 NPN-Transistor BC 108
T 3 NPN-Transistor BC 108
T 4 PNP-Transistor BC 177

C 1 Kondensator 0,33 µF
C 2 Kondensator 33 nF
C 3 Kondensator 3,3 nF
C 4 Kondensator 330 pF
C 5 Kondensator 10 µF
C 6 Kondensator 1 µF
C 7 Kondensator 0,1 µF
C 8 Kondensator 10 nF
C 9 Elko 10 µF
C 10 Elko 2500 µF
C 11 Kondensator 0,1 µF
C 12 Elko 500 µF

P Doppelpoti 2 x 10 kΩ/log

S 1 Schalter 4polig/2 Ebenen
S 2 Schalter 3polig

L Glühlämpchen 24 V/20 mA (z. B. Taunuslicht)


+12V/
60mA
R1
R6
R7
C9
T1
R2
R3
P
S1a
S1b
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
R4
R5
R8
L
C10
R9
R10
R11
T2
T3
T4
C11
C12
A
S2
R13
R14
R12
R15
R16
0V

5. Rechteck/Sägezahngenerator

Nach dem Sinusgenerator sollen nun zwei Impulsgeneratoren beschrieben werden. Zuerst ein Sägezahn/Rechteckgenerator, der in vier Stufen grob und fein Frequenzen zwischen 10 Hz und 100 kHz liefert. Die Schaltung selbst besteht aus drei Baugruppen: einem Sägezahngenerator, einer Begrenzerstufe und einem Emitterfolger, an dem wahlweise Rechteck- oder Sägezahnform ansteht und der die eingestellte Schwingungsform niederohmig an den Ausgang liefert.

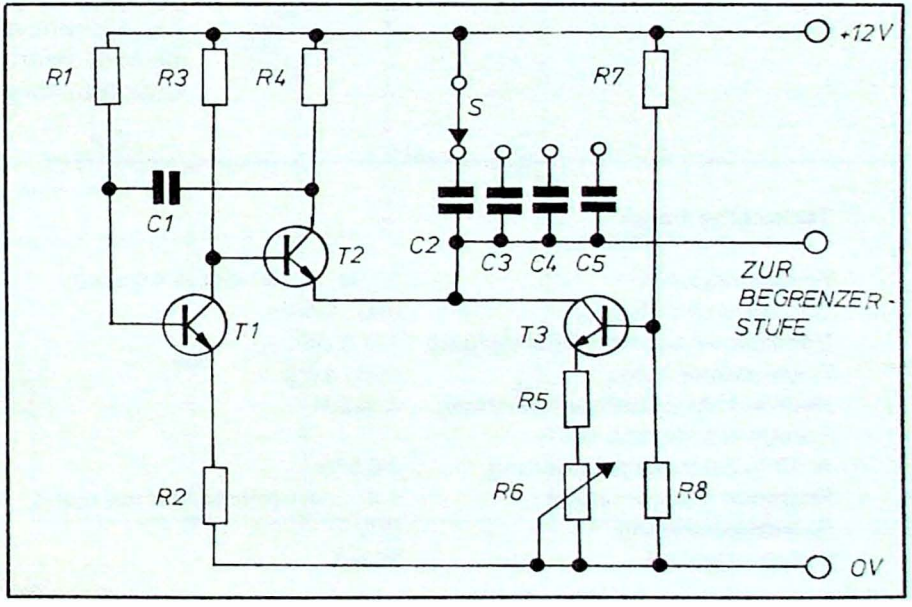
Schaltung 17: Sägezahngenerator

Der Sägezahngenerator in Schaltung 17 arbeitet folgendermaßen:
Zunächst denkt man sich die Kollektor-Emitterstrecke von T 3 überbrückt. Solange C 2 nicht geladen ist, haben Emitter und Kollektor von T 2 dasselbe Potential, weshalb durch T 2 kein Strom fließen kann. Lädt sich nun C 2 auf und wird die Spannung an ihm größer, als der Spannungsabfall an R 3, so beginnt T 2 Strom zu ziehen. Der Spannungsabfall an R 4 erhöht sich und macht über C 1 die Basisspannung von T 1 negativer. Daraus folgt ein noch geringerer Spannungsabfall an R 3, wodurch T 2 noch leitender wird. Dieser Vorgang vollzieht sich sehr rasch und die Schaltung kippt in die andere Lage bis zum völligen Kurzschluß von T 2, so daß C 2 über T 2 und R 4 schlagartig entladen wird. Danach schließt T 2 wieder und C 2 kann sich erneut aufladen.
Vereinfacht ausgedrückt könnte man sagen, daß eine Kapazität langsam über einen Widerstand aufgeladen und nach Überschreiten eines gewissen Punktes sehr schnell entladen wird. Dieser Vorgang ist typisch für die Entstehung einer Sägezahnschwingung. Da aber die Aufladung des Kondensators nicht mit konstantem Strom geschieht, kommt eine exponentiell ansteigende Flanke zustande. Diese Tatsache ist für Meßzwecke unerwünscht.
Zur Linearisierung des Ladestromes dient nun T 3. An seiner Basis steht eine konstante Spannung, die vom Spannungsteiler R 7/R 8 hervorgerufen wird. Der Strom im Kollektorkreis von T 3 bleibt wegen der starken Gegenkopplung, die der Widerstand R 5 + R 6 hervorruft, nahezu konstant und C 2 wird dementsprechend linear aufgeladen.
Die Frequenz wird grob durch Umschalten der Kapazitäten C 2 . . . C 5 eingestellt. Die Feinregelung erfolgt durch Ladestromänderung von T 3. Dies geschieht mit Hilfe des Potentiometers R 6. Am Emitter von T 2

bzw. am Kollektor von T 3 steht nun eine sehr saubere Sägezahnspannung. Selbstverständlich kann der Generator auch alleine für sich verwendet werden, wenn auf Rechteckspannungen kein Wert gelegt wird. Überhaupt lassen sich mit dieser Schaltung noch eine Reihe weiterer Experimente durchführen. So ist z. B. der Frequenzgang nach oben durchaus nicht auf 100 kHz beschränkt. Ein weiterer Kondensator mit 1 nF bringt noch spielend 1 MHz hervor, ohne daß die Kurvenform wesentlich leidet. Dann lassen sich an den Emittern und Kollektoren von T 1 und T 2 steilflankige positive und negative Impulse entnehmen und zum Schluß sei erwähnt, daß der Sägezahngenerator an der Basis von T 1 getriggert werden kann.

Einzelteilliste
Schaltung 17:

R 1 Widerstand 470 kΩ
R 2 Widerstand 560 Ω
R 3 Widerstand 1 kΩ
R 4 Widerstand 100 Ω
R 5 Widerstand 680 Ω
R 6 Potentiometer 10 kΩ
R 7 Widerstand 22 kΩ
R 8 Widerstand 10 kΩ
C 1 Kondensator 2,2 µF
C 2 Kondensator 10 µF
C 3 Kondensator 1 µF
C 4 Kondensator 0,1 µF
C 5 Kondensator 10 nF
S Schalter 4polig
T 1 NPN-Transistor BC 108
T 2 NPN-Transistor BC 108
T 3 NPN-Transistor BC 108



Schaltung 18: Begrenzerstufe

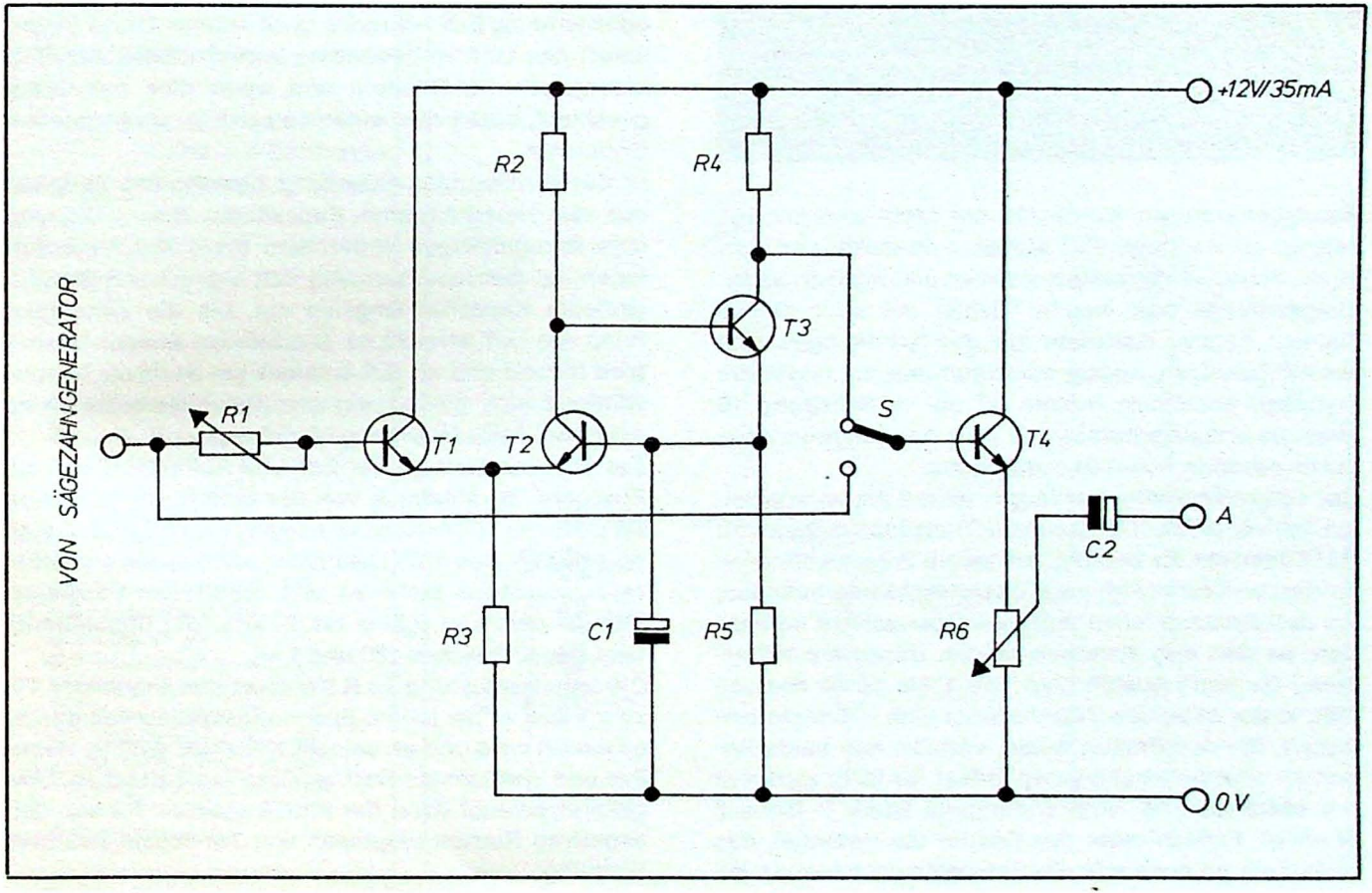
Schaltung 18 zeigt die Begrenzerschaltung, die den Sägezahn in ein Rechteck umwandelt. Mit dem Potentiometer R 1 wird das Tastverhältnis des Rechtecks eingestellt, das sich etwa von 4:1 bis 1:4 variieren läßt. Dieser Regler sollte von außen einstellbar sein, weil sich im höchsten Frequenzbereich das Tastverhältnis ein wenig ändert. Mit S 1 wird die gewünschte Ausgangsspannungsform gewählt, die an den Emitterfolger T 4 gelangt.
Der Ausgang darf mit min. 5 kΩ belastet werden. Wird ein noch niedriger Ausgangswiderstand gewünscht, so kann Schaltung 41 benutzt werden.

Technische Daten

Frequenzbereich	10 Hz . . . 100 kHz in 4 Stufen
Sägezahnamplitude	max. 1,5 V_{ss}
Sägezahn-Amplitudenabweichung	± 1,5 dB
Rechteckamplitude	max. 4 V_{ss}
Rechteck-Amplitudenabweichung	± 0,5 V
Frequenzänderung bei ± 10% Spannungsänderung	±0,5%
Rechteck-Tastverhältnis	1:4 . . . 4:1 (einstellbar mit R 1)
Betriebsspannung	12 V
Stromverbrauch	35 mA

Einzelteilliste Schaltung 18:

R 1 Potentiometer 1 MΩ
R 2 Widerstand 22 kΩ
R 3 Widerstand 220 Ω
R 4 Widerstand 560 Ω
R 5 Widerstand 1,2 kΩ
R 6 Potentiometer 1 kΩ
C 1 Elko 2500 µF
C 2 Elko 1000 µF
S Umschalter
T 1 NPN-Transistor BC 108
T 2 NPN-Transistor BC 108
T 3 NPN-Transistor BC 108
T 4 NPN-Transistor BC 108


+12V/35mA
R2
R4
T3
VON SÄGEZAHNGENERATOR
R1
T1
T2
S
T4
A
C2
R3
C1
R5
R6
0V

6. Impulsgenerator

Impulsgeneratoren werden in der Meß- und Impulstechnik oft benötigt. Sie dienen zum Ansteuern von Kipp-, Schalt- und Verstärkerstufen und müssen Spannungssprünge von exakter Größe mit sehr steilen Flanken liefern. Nachdem manche Schaltungen sich nur mit positiven, andere wiederum nur mit negativen Impulsen ansteuern lassen, ist der in **Schaltung 19** gezeigte Impulsgenerator mit zwei Ausgängen für die entsprechende Polarität ausgerüstet.

Der eigentliche Impulserzeuger ist mit einem speziellen Halbleiter, dem Unijunction-Transistor (abgekürzt: UJT) bestückt. Er besteht aus einem Siliziumstäbchen an dessen Enden sich zwei Basisanschlüsse befinden. An den Kontaktstellen ist keine Sperrschicht vorhanden, so daß sich zwischen beiden Basen ein Widerstand (je nach Ausführung) von 1 bis 10 kΩ messen läßt. In der Mitte des Stäbchens ist eine P-Schicht einlegiert, die den Emitter bildet. Werden nun beide Basen an eine Gleichspannung gelegt, so fließt zunächst nur ein Strom, der vom Widerstand Basis 1—Basis 2 abhängt. Erreicht aber der Emitter ein Potential, das etwa halb so hoch wie die Versorgungsspannung ist, dann wird die E-B 1-Strecke stark leitend. Diese Eigenschaft des UJT ist besonders vorteilhaft bei der Entladung von RC-Gliedern und wenn dies periodisch geschieht, erhält man einen selbsttätig schwingenden Generator.

In der vorliegenden Schaltung besteht das Zeitglied aus den umschaltbaren Kapazitäten C 1 . . . C 5 und dem dazugehörigen Widerstand R 1 + R 2. Nach Anlegen der Betriebsspannung lädt sich die mit S 1 eingestellte Kapazität langsam auf, bis die Zündspannung des UJT erreicht ist. Die Strecke Emitter-Basis 1 wird leitend und an R 5 entsteht ein positiver Impuls, während sich gleichzeitig die Kapazität entlädt und ein neuer Aufladevorgang eingeleitet wird.

Die Aufeinanderfolge der Ent- und Aufladung, also die Frequenz, ist abhängig von der eingestellten Kapazität und vom Widerstandswert von R 1. C 1 bis C 5 sind so gewählt, daß sich zusammen mit R 1 ein Regelbereich von etwas mehr als 10:1 ergibt. Der Frequenzbereich geht von 0,2 Hz bis 20 kHz, die Impulsbreite liegt dabei zwischen 180 und 1 µs.

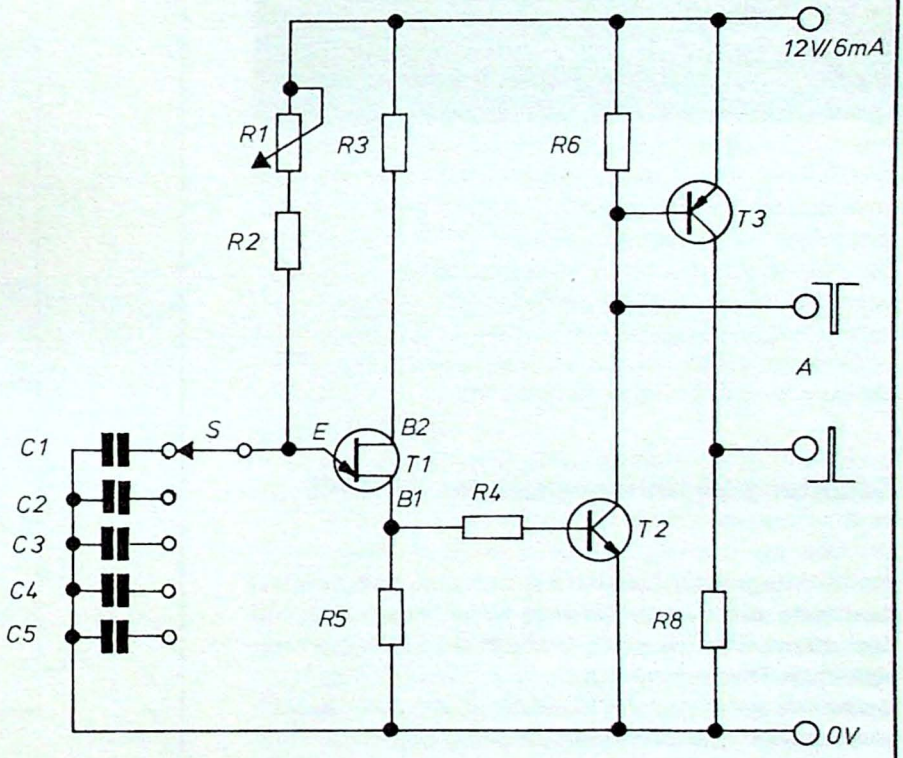
Die Impulsspannung an R 5 steuert den Transistor T 2 so an, daß er bei jedem Spannungssprung voll durchgesteuert wird und an seinem Kollektor exakte, negative und steilflankige Rechteckimpulse entstehen. Umgekehrt erzeugt dann der pnp-Transistor T 3 aus den negativen Rechteckimpulsen von T 2 solche positiver Richtung.

Technische Daten:

Frequenz:
0,2Hz. . 20 kHz in 5 Bereichen
Ausgang: Negativ und positiv
Impulsbreite: 180 μs . . . 1 μs
Betriebsspannung: 12 V
Stromverbrauch: 6 mA

Einzelteilliste Schaltung 19:

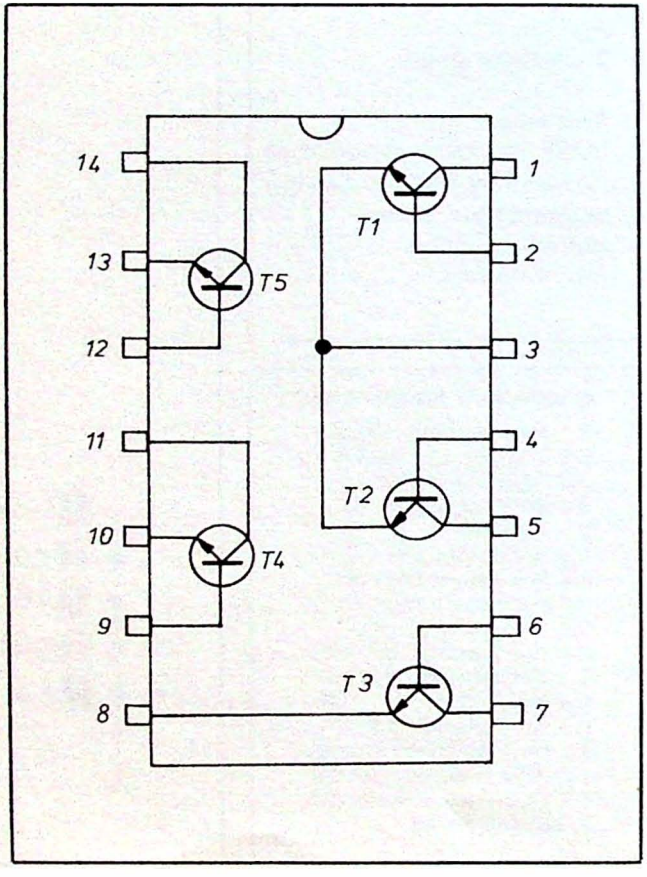
R 1 Potentiometer 100 kΩ
R 2 Widerstand 8,2 kΩ
R 3 Widerstand 330 Ω
R 4 Widerstand 47 Ω
R 5 Widerstand 47 Ω
R 6 Widerstand 560 Ω
~~R 7 Widerstand 560 Ω~~
R 8 Widerstand 560 Ω
C 1 Elko 47 μF
C 2 Kondensator 4,7 μF
C 3 Kondensator 0,47 μF
C 4 Kondensator 47 nF
C 5 Kondensator 4,7 nF
T 1 UJ-Transistor 2 N 2646
T 2 NPN-Transistor BC 108
T 3 PNP-Transistor BC 177
S Schalter 5polig



7. Frequenzmeßgerät

Schaltung 20: Innenschaltung CA 3046

Ein IS (Integrierter Schaltkreis) und eine handvoll Widerstände und Kondensatoren bilden zusammen mit dem 10-mA-Bereich eines Vielfachmeßgerätes diesen einfachen Frequenzmesser.
Herzstück der Schaltung 21 ist der IS CA 3046, dessen „Innenleben" die Schaltung 20 zeigt. Er enthält 5 integrierte NPN-Silizium-Transistoren, deren Anschlüsse in der gezeichneten Weise nach außen geführt sind.



Schaltung 21: Gesamtschaltung

Die Wechselspannung, die gemessen werden soll, gelangt über C 7 auf den Eingang einer aus T 1 und T 2 bestehenden Triggerschaltung. Sie wandelt jede Periode der unbekannten Frequenz in eine gleiche, jedoch rechteckförmige Impulsspannung um. Am Differenzierglied C 6/R 9 entstehen positiv und negativ gerichtete Impulse. Mit dem als Diode geschalteten Transistor T 3 werden die negativen Impulse gesperrt: An die Basis von T 4 gelangen nur positive Spannungsspitzen!

T 4 und T 5 bilden zusammen einen monostabilen Multivibrator, der von den über T 3 (Diode!) kommenden positiven Impulsen gekippt wird. Nach Ablauf einer bestimmten Zeit kehrt die Schaltung wieder in ihre Ruhelage zurück. Am Ausgang erscheinen Rechteckimpulse mit unterschiedlicher Impulsbreite, jedoch konstanter Amplitude. An den umschaltbaren Meßkondensatoren C 1 ... C 5 entsteht eine Gleichspannung, die von der Frequenz abhängt und vom Meßwerk M angezeigt wird. Hierzu kann jedes Vielfachmeßgerät mit einem 10-mA-Bereich dienen, aber auch ein separates 10-mA-Instrument oder jedes andere, entsprechend geshuntete.

Ursprünglich war für jede der Kapazitäten C 1 ... C 5 ein eigenes Eich-Trimmpoti vorgesehen. Es hat sich jedoch gezeigt, daß bei Verwendung von 1%igen Kondensatoren nur ein einziger Eichregler (R 2) nötig war. Lediglich im 1-MHz-Bereich kann es vorkommen, daß sich bereits Verdrahtungskapazitäten zu C 1 addieren. Dann sieht man entweder ein entsprechendes Trimmpoti (wie R 2) vor, oder ersetzt C 1 durch einen Kondensator von 68 pF, dem ein 50-pF-Trimmer parallelgeschaltet wird.

Zur Eichung legt man eine Netzspannung von 0,2 ... 1 V an den Eingang (S 1 im 100-Hz-Bereich) und regelt mit R 2 auf 50 % Ausschlag ein. Ebenso wird im 1-MHz-Bereich mit einer Sinusspannung von 500 kHz verfahren.

Wie alle Kippschaltungen, deren Funktion stark von der Versorgungsspannung abhängt, ist auch hier auf sorgfältige Stabilisierung zu achten. Bei Betrieb aus Trockenbatterien sollte vor der Messung unbedingt die Batteriespannung überprüft werden, damit keine Fehlmessung infolge verbrauchter Batterien zustande kommt.

Bereits erwähnt wurde die Amplitude der Eingangsspannung. Sie sollte zwischen 200 mV und 1 V liegen, wobei höhere Eingangsspannungen im untersten und obersten Bereich zu Übersteuerungen und damit zu Fehlmessungen führen können. Kleinere Amplituden als 200 mV werden zweckmäßigerweise mittels eines einstufigen Verstärkers auf das angegebene Spannungsniveau angehoben.

Zum Abschluß sei noch erwähnt, daß man das Prinzip dieses Frequenzmessers umkehren und die Anlage auch zur Kapazitätsbestimmung benutzen kann. Dazu wird für S 1 eine zusätzliche Schaltstellung vorgesehen (gestrichelt im Schaltbild), an der der unbekannte Kondensator C_x angeschlossen wird. An den Eingang legt man Sinusspannungen von 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz und 1 Mhz und kann dann direkt in dem Bereich, der keinen Vollausschlag mehr ergibt, den Kapazitätswert ablesen.

Technische Daten

Meßbereich:	10 Hz . . . 1 MHz in 5 Bereichen
Eingangsspannung:	0,2 . . . 1 V
Betriebsspannung:	12 V stab.
Stromverbrauch:	30 mA

Einzelteilliste
Schaltung 21:

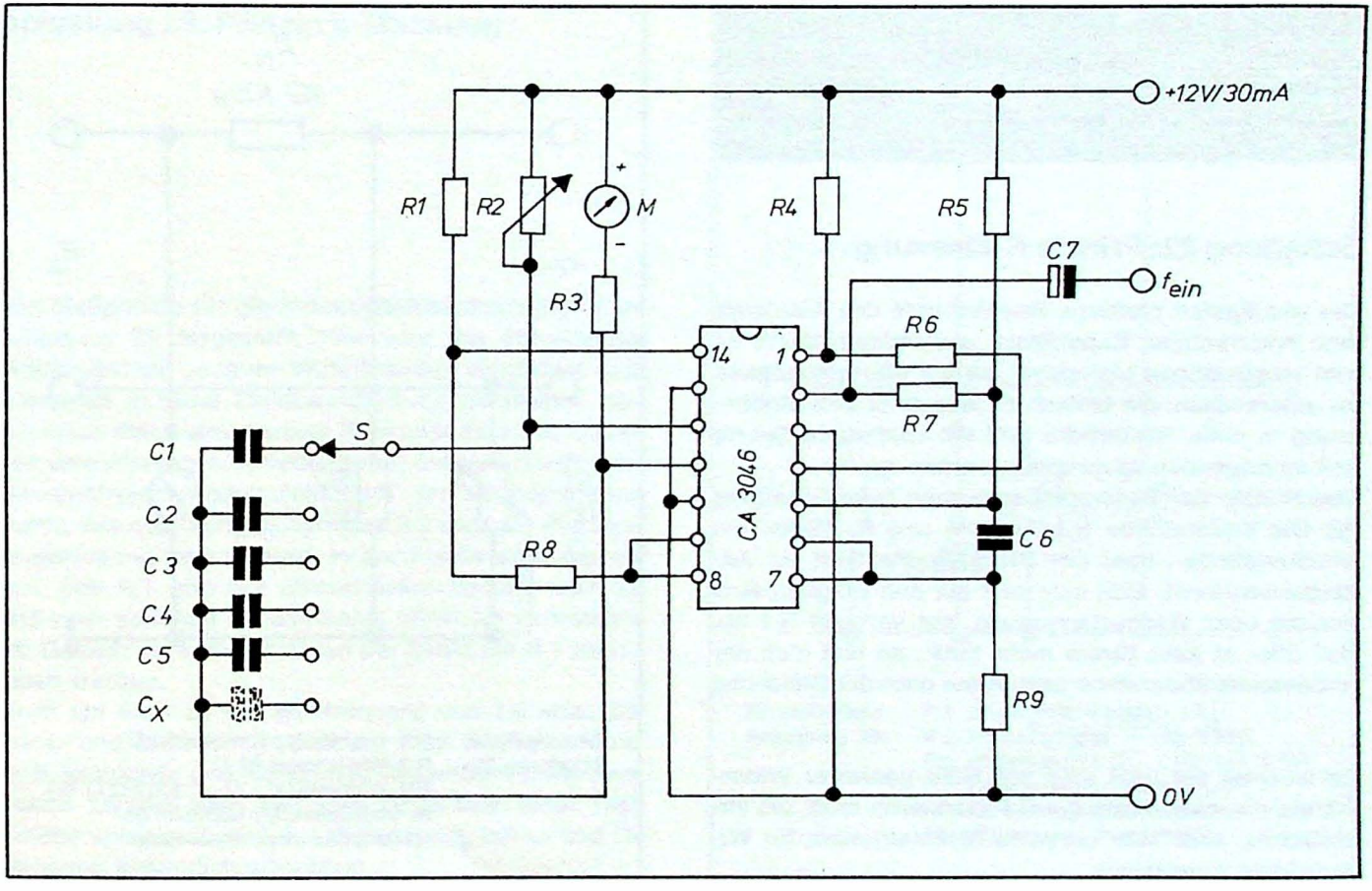
R 1 Widerstand 2,7 kΩ
R 2 Trimmpoti 10 kΩ
R 3 Widerstand 560 Ω
R 4 Widerstand 1,2 kΩ
R 5 Widerstand 330 Ω
R 6 Widerstand 4,7 kΩ
R 7 Widerstand 10 kΩ
R 8 Widerstand 4,7 kΩ
R 9 Widerstand 1,2 kΩ

C 1 Styroflex-Kondensator 100 pF
C 2 Styroflex-Kondensator 1 nF
C 3 Styroflex-Kondensator 10 nF
C 4 Styroflex-Kondensator 0,1 µF
C 5 Styroflex-Kondensator 1 µF
C 6 Styroflex-Kondensator 100 pF
C 7 Elko 50 µF

S 1 Schalter 6pol.

M Vielfachmeßgerät/Bereich 10 mA

IS Integrierter Schaltkreis CA 3046


+12V/30mA
R1
R2
M
+
-
R3
R4
R5
C7
f_{ein}
R6
R7
14
1
CA 3046
S
C1
C2
C3
C4
C5
C_X
R8
8
7
C6
R9
0V

8. RLC-Meßbrücke

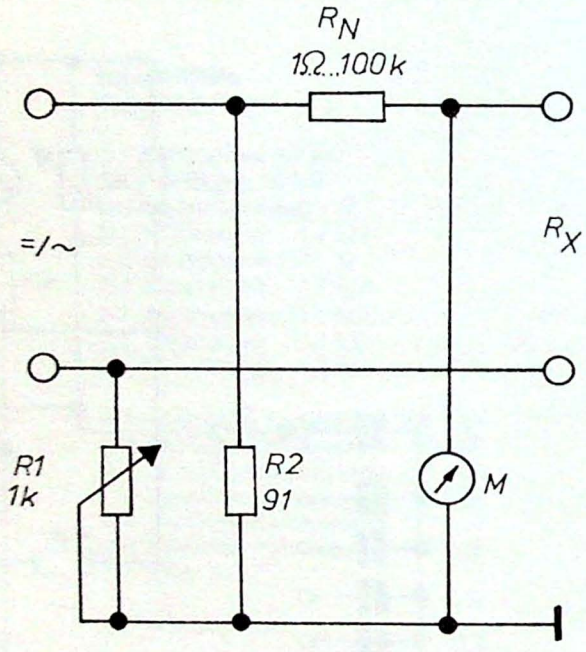
Schaltung 22: Prinzip R-Messung

Die wichtigsten passiven Bauelemente des Amateurs sind Widerstände, Kapazitäten und Induktivitäten. Es gibt verschiedene Methoden, sie auf Wertgenauigkeit zu untersuchen, die einfachste jedoch ist ihre Bestimmung in einer Meßbrücke und ein solches Meßgerät soll im folgenden besprochen werden.

Das Prinzip der Widerstandsmessung zeigt Schaltung 22. Die Widerstände R 1, R 2, R_N und R_x bilden die Brückenglieder, über der Brückenmitte liegt ein Anzeigeinstrument. Gibt man nun auf den Eingang eine Gleich- oder Wechselspannung und verstellt R 1 so, daß über M kein Strom mehr fließt, so läßt sich der unbekannte Widerstand berechnen nach der Gleichung

$$R_x = \frac{RN \cdot R1}{R2}$$

Es leuchtet ein, daß man mit Hilfe geeichter Widerstände nur eine Skala um R 1 markieren muß, um ein einfaches, aber sehr genaues Meßinstrument für Widerstände zu erhalten.



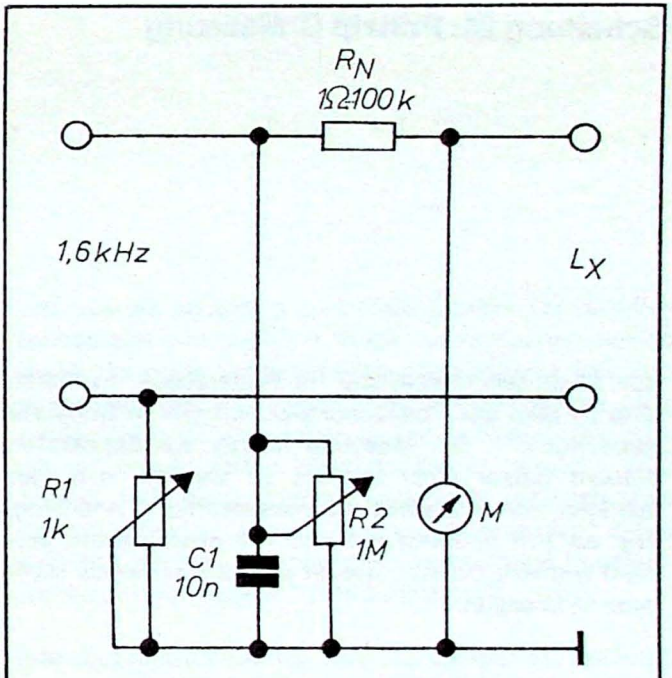
Einzelteilliste Schaltung 22:

R 1 Drahtpotentiometer 1 kΩ
R 2 Widerstand 91 Ω
RN Widerstand 1 Ω ... 100 kΩ (1 %)
M Instrument für Nullanzeige
Rx Unbekannter Widerstand

Schaltung 23: Prinzip L-Messung

Das Meßprinzip für die Induktivitätsbestimmung ist in Schaltung 23 dargestellt. Hier wird die unbekannte Induktivität mit genauen Widerständen verglichen und wiederum in einer Brückenschaltung gemessen, deren eines Glied eine genaue Kapazität darstellt. Dabei tritt eine Phasenverschiebung auf, die sich durch kein einwandfreies Anzeigeminimum in M bemerkbar macht. Mit dem Ausgleichsregler R 2 wird die Phasenverschiebung kompensiert. In der Praxis sieht das so aus, daß R 1 und R 2 abwechselnd bedient werden und zwar so lange bis ein klares Minimum vorhanden ist. Danach kann der Wert auf der Skala um R 1 abgelesen werden.

Noch ein Wort zu der Meßfrequenz von 1,6 kHz. Bei der L- und C-Messung spielt der Wert $2\pi f$ eine Rolle (z. B. induktiver und kapazitiver Widerstand!). Mit dem Faktor 1,6 wird aber $2\pi f$ stets zu 10 bzw. einer 10er Potenz und damit wird der Meßvorgang bei L- und C-Messung wesentlich erleichtert.



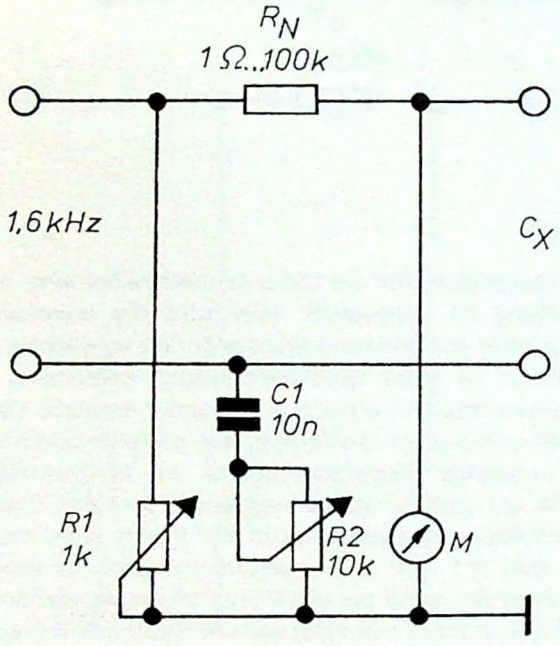
Einzelteilliste Schaltung 23:

R 1 Drahtpotentiometer 1 kΩ
R 2 Potentiometer + log. 1 MΩ
RN Widerstand 1 Ω . . . 100 kΩ (1 %)
C 1 Kondensator 10 nF (1 %)
M Instrument für Nullanzeige
Lx Unbekannte Induktivität

Schaltung 24: Prinzip C-Messung

Nun noch das Meßprinzip für Kapazitäten. In Schaltung 24 liegt der Phasenausgleichsregler in Serie zur Kapazität C 1. Bei Messung kleiner Kondensatoren braucht dieser nicht bedient zu werden, d. h. der Schleifer von R 2 steht am masseseitigen Anschlag. Erst ab 1 µF müssen R 1 und R 2 abwechselnd verstellt werden, bis sich wieder ein einwandfreies Minimum in M ergibt.

In der Praxis wird natürlich kaum jemand auf die Idee kommen, eine solche Schaltung „fliegend" aufzubauen, um eines der drei Bauelemente auszumessen. Viel besser wäre es, die drei Prinzipschaltungen in einem kleinen Zusatzgerät zusammenzufassen und mit Hilfe des bereits behandelten RC-Generators und des Millivoltmeters ein neues Meßgerät zu realisieren.



Einzelteilliste Schaltung 24:

R 1 Drahtpotentiometer 1 kΩ
R 2 Potentiometer lin. 10 kΩ
RN Widerstand 1 Ω . . . 100 kΩ (1 %)
C 1 Kondensator 10 nF (1 %)
M Instrument für Nullanzeige
Cx Unbekannte Kapazität

Schaltung 25: RLC-Messung

Das Prinzip zeigt Schaltung 25. Die Meßspannung von 1,6 kHz, geliefert vom RC-Generator gelangt auf einen Symmetrieübertrager, der primärseitig eine Impedanz von 1 . . 10 kΩ, sekundärseitig 4 . . . 16 Ω aufweist. (NF-Ausgangsübertrager aus Transistorgerät!) Die Wahl auf die drei Meßgrößen übernimmt S 1, während mit S 2 die Vergleichswiderstände umgeschaltet werden. Zur Anzeige des Spannungsminimums dient ein Millivoltmeter. Besonderes Augenmerk ist den beiden Potentiometern R 1 und R 2 zu widmen. R 1 muß unbedingt eine Drahtausführung mit möglichst großem Schleiferweg sein. Auf den Absolutwert von 1 kΩ kommt es nicht so sehr an, vielmehr sollte hier eine kompakte Ausführung benutzt werden, die eine gute Wiederkehrgenauigkeit garantiert. Der Regler R 2 dient zum Phasenausgleich sowohl bei L-, als auch bei C-Messung. Bei Vergleich der dazugehörigen Prinzipschaltungen aber sieht man, daß der benötigte Wert von R 2 bei L = 1 MΩ, bei C aber nur 10 kΩ beträgt.

Um nun ein schwierig zu beschaffendes Tandem-Potentiometer von 1 MΩ + 10 kΩ zu vermeiden, wurde im Mustergerät ein positiv-logarithmisches 1-MΩ-Poti eingebaut, das am Anfang des Schleiferweges sehr niederohmig ist und erst ab 1/3 der Schleiferbahn dann schnell seinen vollen Widerstandswert erreicht. Zum Schluß muß dieses kleine Zusatzgerät natürlich noch geeicht werden. Dieser Vorgang soll hier nicht näher erläutert werden, da er bei dem nachfolgend beschriebenen „Komplettgerät" ausführlich erklärt wird.

Die Zusammenfassung von RC-Generator, Millivoltmeter und RLC-Zusatzgerät nach Schaltung 25 wird manchmal lästig sein, vor allem dann, wenn im Augenblick des Ausmessens die Meßgeräte gerade anderswo gebraucht werden. Deshalb soll im Anschluß noch eine komplette RLC-Meßbrücke mit eingebautem Meßgenerator und fester Anzeigeeinrichtung beschrieben werden.

Einzelteilliste
Schaltung 25 und 27

R 1 Drahtpotentiometer 1 kΩ
R 2 Potentiometer + log. 1 MΩ
R 3 Widerstand 91 Ω
R 4 Widerstand 1 % 1 Ω
R 5 Widerstand 1 % 10 Ω
R 6 Widerstand 1 % 100 Ω
R 7 Widerstand 1 % 1 kΩ
R 8 Widerstand 1 % 10 kΩ
R 9 Widerstand 1 % 100 kΩ

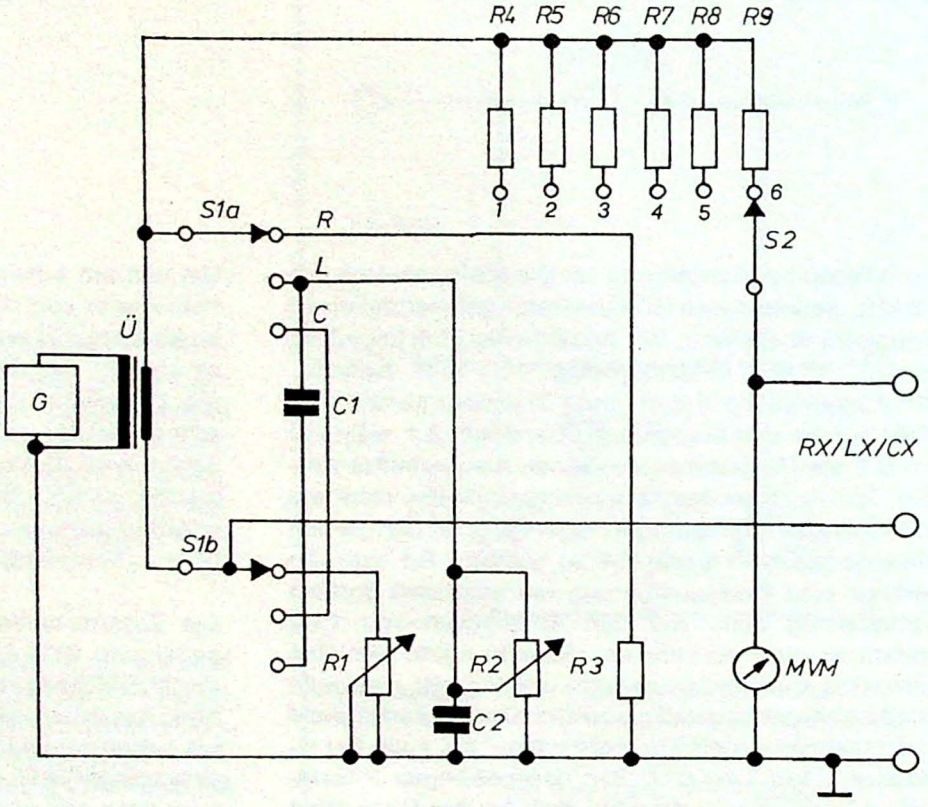
C 1 Kondensator 1 % 10 nF
C 2 Kondensator 1 % 10 nF

Ü Übertrager
1 . . . 10 kΩ/4 . . . 16 Ω

G RC-Generator 1,6 kHz

MVM Millivoltmeter

S 1 Schalter 3polig/2 Ebenen
S 2 Schalter 6polig

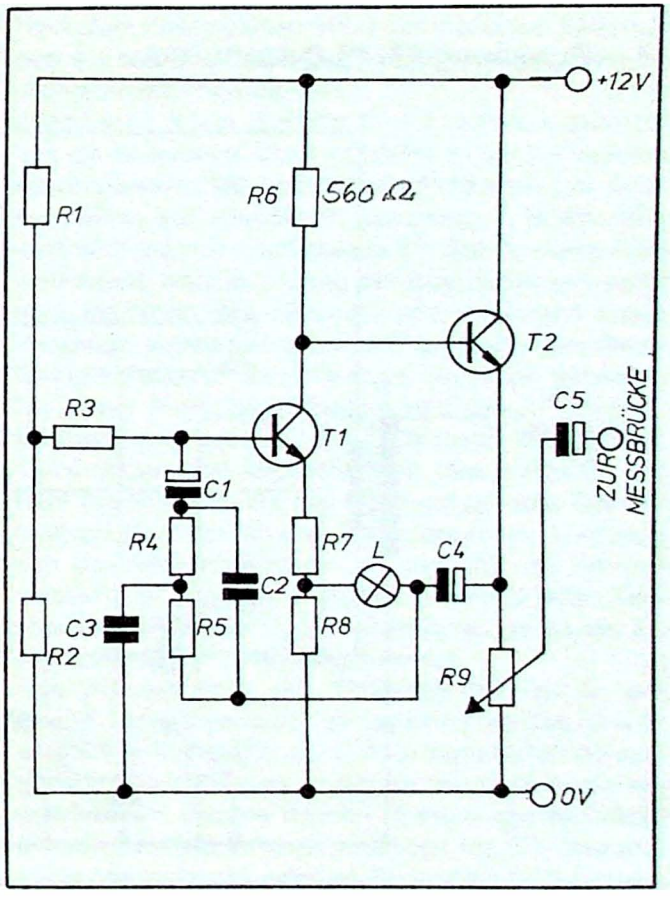


Schaltung 26: 1,6-kHz-Generator

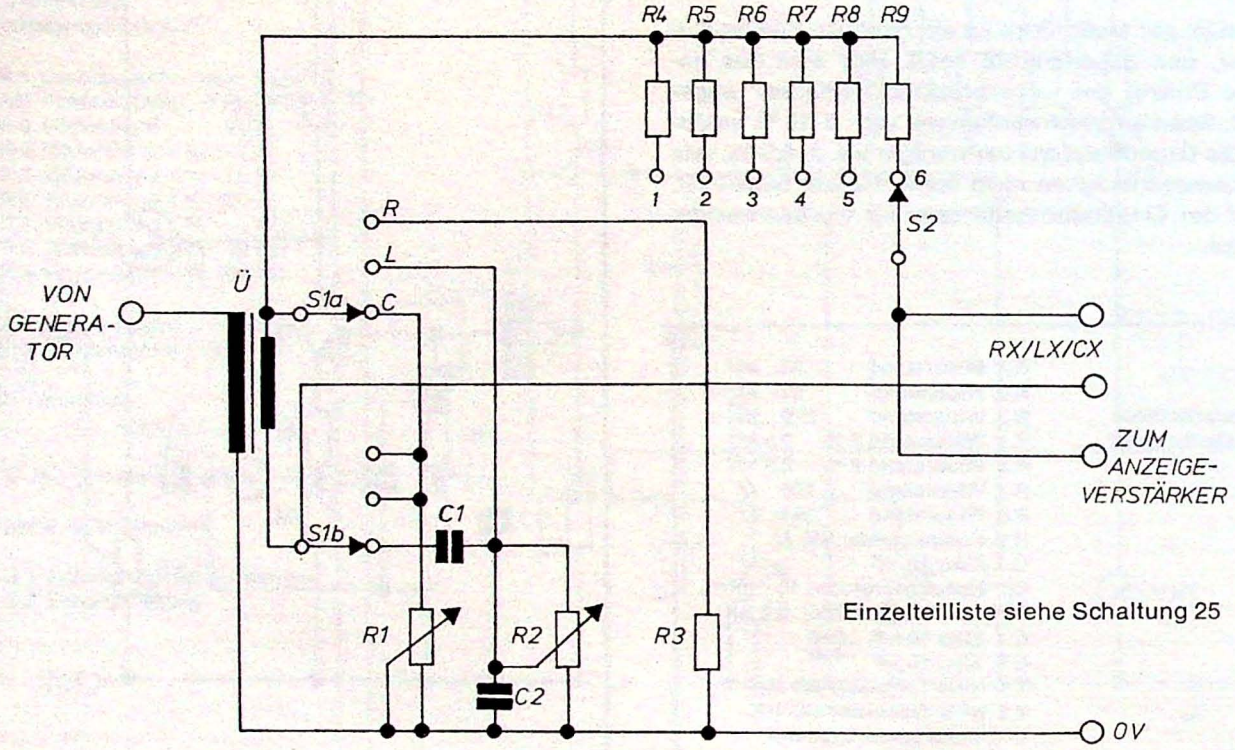
Herzstück der Meßbrücke ist ein genauer 1,6-kHz-Generator, den Schaltung 26 zeigt. Hier wird das bewährte Prinzip des „überbrückten-T-Gliedes" angewandt. Spannungsschwankungen von ± 10 % verändern die Grundfrequenz um weniger als ± 0,5 %, was die Ablesegenauigkeit nicht mehr meßbar beeinflußt. R 9 ist der Empfindlichkeitsregler für die Spannungsanzeige.

Einzelteilliste Schaltung 26:

R 1	Widerstand	22 kΩ
R 2	Widerstand	10 kΩ
R 3	Widerstand	270 kΩ
R 4	Widerstand 2 %	3,6 kΩ
R 5	Widerstand 2 %	3,6 kΩ
R 7	Widerstand	100 Ω
R 8	Widerstand	390 Ω
R 9	Potentiometer	500 Ω
C 1	Elko	10 µF
C 2	Kondensator 2 %	10 nF
C 3	Kondensator 2 %	0,1 µF
C 4	Elko	10 µF
C 5	Elko	10 µF
T 1	NPN-Transistor	BC 108
T 2	NPN-Transistor	BC 108
L	Glühlampe	24 V/20 mA



Schaltung 27: RLC-Meßbrücke



Einzelteilliste siehe Schaltung 25

Schaltung 28: Verstärker mit Anzeige

Verstärker und Anzeigeeinrichtung zeigt Schaltung 28. T 1 ist mit einem Doppel-T-Filter so stark gegengekoppelt, daß alle Frequenzen außer 1,6 kHz gedämpft werden. Das hat den Vorteil, daß Brummspannungen, die z. B. beim Berühren der X-Buchsen entstehen, das Meßwerk M nur unwesentlich ausschlagen lassen und dadurch unbeabsichtigte Überlastungen vermieden werden. Durch die hochohmige Eingangsschaltung des Verstärkers T 1 konnte C 1 mit 22 nF niedrig gehalten werden, wodurch auch hochohmige Meßobjekte nur geringe Belastung erfahren. Übliche Anzeigeschaltungen sind zwar im Bereich des Vollausschlags sehr empfindlich, aber im unteren Teil umso ungenauer. Da es aber bei dieser Anzeige gerade um die Erkennung eines Spannungsminimums geht, wurde hier doch eine etwas aufwendigere Schaltung gewählt. Dabei werden noch umso kleinere Spannungen angezeigt, je größer der Widerstandswert von R 12 ist. Er hängt von der maximalen Spannung ab, die der Symmetrieübertrager liefert und von der Empfindlichkeit von M. Ein Mittelwert von 150 . . . 200 Ω dürfte allen vorkommenden Gegebenheiten gerecht werden.

Nach dem Zusammenschalten der einzelnen Baugruppen soll nun der wichtigste Vorgang, nämlich die Eichung beschrieben werden:
Zuerst wird S 1 in Stellung R, S 2 in Pos. 4 gebracht und ein Widerstand von 1 kΩ (1 %) an die X-Klemmen angeschlossen. Mit dem Empfindlichkeitsregler stellt man einen gut ablesbaren Ausschlag in M ein. Nun verändert man den RLC-Regler so, daß der Ausschlag zurückgeht. Nach Erhöhung der Empfindlichkeit sucht man wiederum das Minimum und wiederholt beide Vorgänge solange, bis bei voll aufgedrehtem Empfindlichkeitsregler das absolute Minimum gefunden ist. Dieser Punkt wird markiert und mit „1" gekennzeichnet. Jetzt wird an die X-Klemmen ein genauer 10-kΩ-Widerstand angeschlossen und wiederum mit Hilfe des RLC-Reglers das Minimum gesucht. Der gefundene Punkt erhält die „10" zugeordnet. Teilt man nun den Sektor zwischen „1" und „10" mit Winkelmesser oder Zirkel in 10 gleiche Teile und jeden Teilabschnitt wiederum in 10 Teilsektoren, so ist die Eichung für die RLC-Ablesung beendet.
Nun müssen noch die Meßkondensatoren in der Brücke (falls notwendig) abgeglichen werden. Zuerst wird S 1 in Stellung L, S 2 in Pos. 3 gebracht und eine genaue Induktivität von 1 mH an die X-Klemmen angeschlossen. Danach werden Phasen- und RLC-Regler abwechselnd solange verändert bis ein einwandfreies Minimum gefunden ist. Stimmt die RLC-Anzeige

nun nicht mit der Marke „10" überein, so ist C 2 in Schaltung 27 ein wenig zu verkleinern bzw. zu vergrößern, eben solange bis die „10" genau erreicht ist. Genauso verfährt man mit einem Eichkondensator von 0,1 μF (1 %, S 1 in C, S 2 in 3). Nach diesen Abgleicharbeiten ist das Meßgerät betriebsbereit.

Zum Schluß noch ein Tip: Man kann die Meßbereiche durch Verkleinern oder Vergrößern der Meßkondensatoren um den Faktor 10 verschieben. So erhält man bei C 1 = 0,1 μF einen Endbereich für die C-Messung von 100 μF, bei 1 μF einen Endbereich von 1000 μF.

Genauso ist es bei der L-Messung. Die einzelnen Meßbereiche gibt die Tabelle wieder:

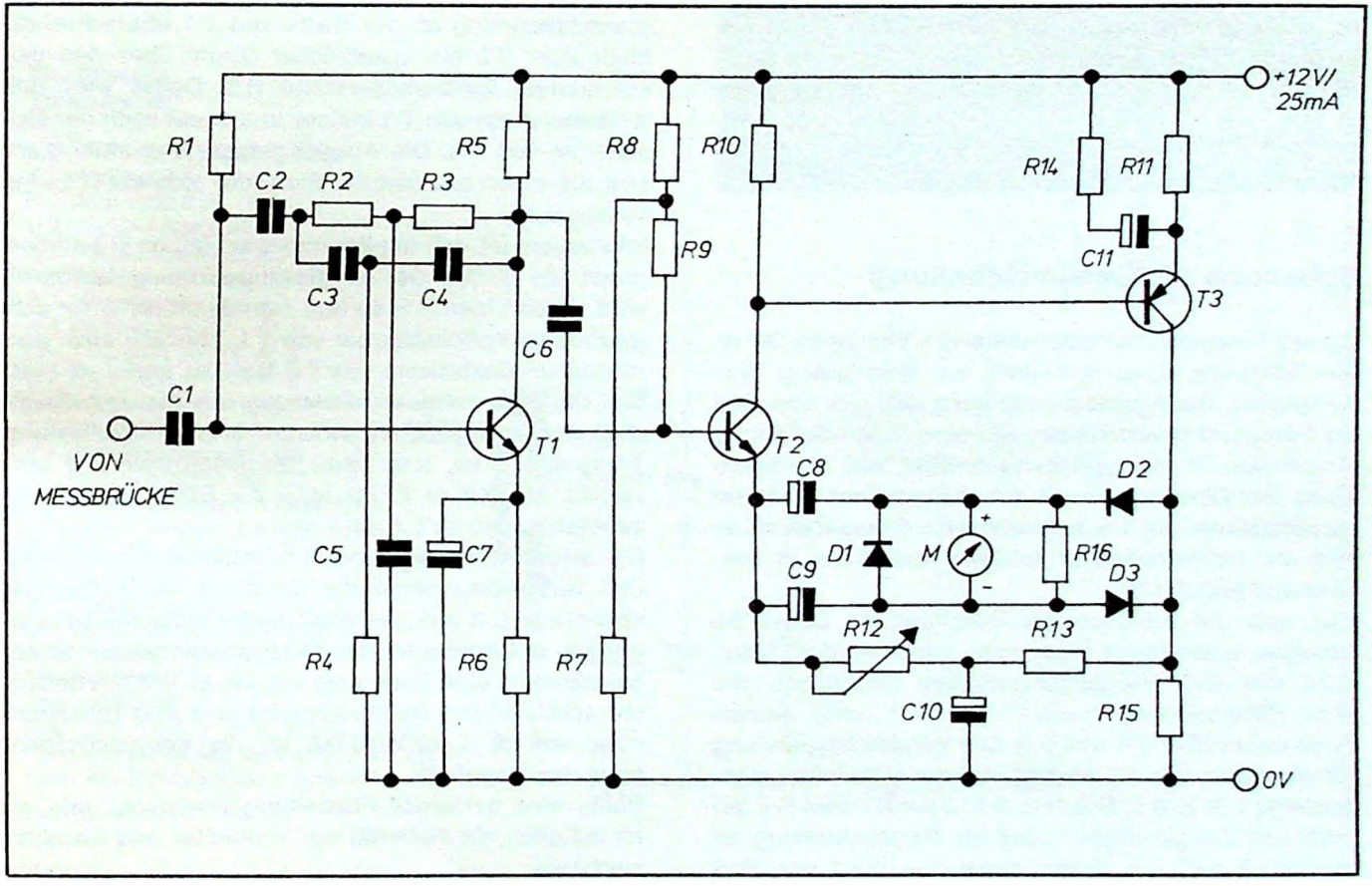
Einzelteilliste Schaltung 28:

R 1	Widerstand	2,2 MΩ	C 1	Kondensator	22 nF
R 2	Widerstand 2 %	10 kΩ	C 2	Kondensator	22 nF
R 3	Widerstand 2 %	10 kΩ	C 3	Kondensator 2 %	10 nF
R 4	Widerstand 2 %	5,1 kΩ	C 4	Kondensator 2 %	10 nF
R 5	Widerstand	3,9 kΩ	C 5	Kondensator 2 %	22 nF
R 6	Widerstand	560 Ω	C 6	Kondensator	22 nF
R 7	Widerstand	1 MΩ	C 7	Elko	10 µF
R 8	Widerstand	270 kΩ	C 8	Elko	47 µF
R 9	Widerstand	270 kΩ	C 9	Elko	47 µF
R 10	Widerstand	10 kΩ	C 10	Elko	250 µF
R 11	Widerstand	390 Ω	C 11	Elko	100 µF
R 12	Trimmregler	500 Ω	T 1	NPN-Transistor	BC 108
R 13	Widerstand	3,9 k	T 2	NPN-Transistor	BC 108
R 14	Widerstand	100 Ω	T 3	PNP-Transistor	BC 177
R 15	Widerstand	2,7 kΩ	M	Meßwerk	50 . . . 500 µA
R 16	Widerstand	1,2 kΩ	D 1	Si-Diode	1 N 914
			D 2	Si-Diode	1 N 914
			D 3	Si-Diode	1 N 914

S 2	S 1 in Stellung R	L	C
1	1 Ω . . . 10 Ω	1 µH . . . 10 µH	1 µF . . . 10 µF
2	10 Ω . . . 100 Ω	10 µH . . . 100 µH	0,1 µF . . . 1 µF
3	100 Ω . . . 1 kΩ	100 µH . . . 1 mH	10 nF . . . 0,1 µF
4	1 kΩ . . . 10 kΩ	1 mH . . . 10 mH	1 nF . . . 10 nF
5	10 kΩ . . . 100 kΩ	10 mH . . . 100 mH	100 pF . . . 1 nF
6	100 kΩ . . . 1 MΩ	100 mH . . . 1 H	10 pF . . . 100 pF

Technische Daten

Widerstände	1 Ω . . . 1 MΩ in 6 Bereichen
Induktivitäten	1 µH . . . 1 H in 6 Bereichen
Kapazitäten	10 pF . . . 10 µF in 6 Bereichen
Genauigkeit	± 2 % in Stellung „10" des RLC-Reglers
Betriebsspannung	12 V
Stromverbrauch	25 mA


+12V/
25mA
R1
C2
R2
R3
R5
R8
R10
R14
R11
C11
R9
C3
C4
T3
C6
C1
VON
MESSBRÜCKE
T1
T2
C8
D2
C5
C7
C9
D1
M
R16
D3
R12
R13
R4
R6
R7
C10
R15
0V

9. Stabilisiertes Netzgerät 0 . . . 25 V/1 A

Schaltung 29: Gesamtschaltung

Dieses Netzgerät hat eine Reihe von Vorzügen. So ist die Schaltung äußerst einfach bei sehr gutem Wirkungsgrad, die Ausgangsspannung läßt sich von Null bis zum Höchstwert regeln und eine in die Schaltung eingebaute Strombegrenzung bewirkt, daß die Spannung bei Überlast soweit zusammenbricht, daß der Maximalstrom auf 1 A begrenzt wird. Diese Belastung hält der Längstransistor spielend aus, wenn er ausreichend gekühlt ist.

Nun aber zur Funktion der Schaltung 29. Damit die unterste einstellbare Spannung Null werden kann, wird hier eine Vergleichsspannung zugezogen, die eine Hilfsspannungsquelle liefert. T 3 erhält seinen Basisstrom über T 1 und R 3. Die Vergleichsspannung für die Basis von T 1 kommt aus der Hilfsspannungsquelle D 1, C 2, R 1, R 2, D 2, D 3. Über R 4 und R 5 gelangt die Ausgangsspannung als Regelspannung an die Basis von T 2. Wenn diese den Wert der Vergleichsspannung an der Basis von T 1 überschreitet, fließt über T 2 ein zusätzlicher Strom über den gemeinsamen Emitterwiderstand R 3. Damit wird der Kollektorstrom von T 1 kleiner und somit auch der Basisstrom von T 3. Die Ausgangsspannung stabilisiert sich auf einen bestimmten Wert, der sich mit R 5 einstellen läßt.

Interessant ist, daß der Spannungsabfall an R 3 alleine durch die Größe der Vergleichsspannung bestimmt wird. Ändert man R 3, so legt man damit nicht nur den maximalen Kollektorstrom von T 1, sondern auch den möglichen Basisstrom von T 3 fest. So ergibt es sich, daß die Spannungsstabilisierung nur bis zum Erreichen des Grenzstromes wirksam, und bei Überlastung T 2 gesperrt ist, was einer Stromstabilisierung entspricht. Mit R 3 = 27 kΩ setzt die Strombegrenzung ziemlich genau ab 1 A ein.

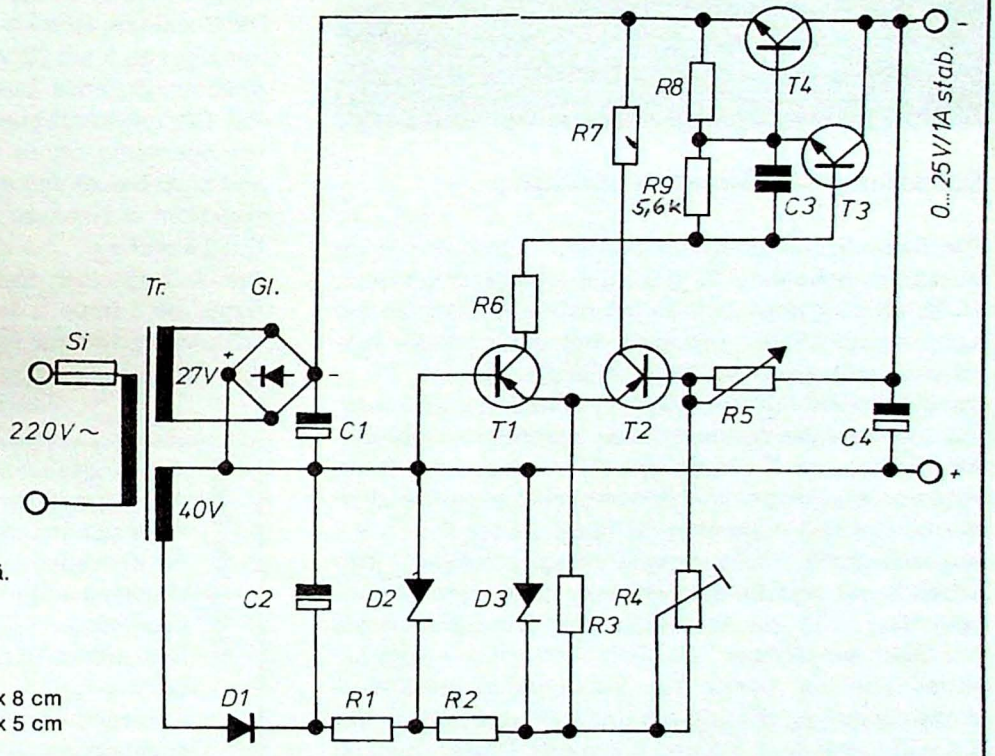
Die Widerstände R 6 und R 7 entlasten T 1 und T 2 und verbessern damit die Konstanz der Ausgangsspannung. C 3 soll eventuell auftretende HF-Schwingungen unterdrücken. Der Netztransformator muß sekundärseitig eine Spannung von ca. 27 V/1,5 A liefern, die anschließend stabilisiert wird und eine Hilfsspannung von 35 . . . 42 V/10 mA für die Vergleichsspannung des Regelteils.

Sollte eine geregelte Plusleitung erwünscht sein, so ist lediglich die Polarität der Halbleiter und Elkos zu wechseln.

Einzelteilliste
Schaltung 29:

R 1 Widerstand 2,2 kΩ/1 W
R 2 Widerstand 1 kΩ
R 3 Widerstand 27 kΩ
R 4 Trimmregler 5 kΩ
R 5 Potentiometer 10 kΩ
R 6 Widerstand 5,6 kΩ
R 7 Widerstand 5,6 kΩ
R 8 Widerstand 560 Ω
C 1 Elko 5000 µF/35/40 V
C 2 Elko 100 µF/70/80 V
C 3 Kondensator 18 nF
C 4 Elko 100 µF/35/40 V
T 1 PNP-Transistor BC 177
T 2 PNP-Transistor BC 177
T 3 NPN-Transistor 2 N 3054 o. ä.
T 4 NPN-Transistor 2 N 3055 o. ä.
D 1 Si-Diode BY 100 o. BY 103
D 2 Zenerdiode 15 V
D 3 Zenerdiode 6,8 V
GL. Gleichrichter B 40 C 3200 o. ä.
Si Sicherung 1 A tr.
Tr. Netztrafo
Prim. 220 Volt
Sek. 27 V/1,5 A + 40 V/10 mA
1 mm Alu-Kühlblech für T 4 ca. 8 x 8 cm
1 mm Alu-Kühlblech für T 3 ca. 5 x 5 cm

Technische Daten wie Schaltung 31



10. Kleinnetzteil mit elektronischer Sicherung

Schaltung 30: Gesamtschaltung

Für Versuchsaufbauten mit geringem Stromverbrauch ist das in Schaltung 30 gezeigte Netzgerät gedacht. Es ist so ausgelegt, daß es bei einem Kurzschluß am Ausgang abschaltet und sich erst dann wieder einschalten läßt, wenn der Kurzschluß beseitigt ist.

Da die Schaltung von üblichen Netzteilen abweicht, soll hier kurz die Wirkungsweise beschrieben werden: Am Emitter von T 4 steht ein Potential aus der Differenz von Ausgangs- und Zenerspannung, während an der Basis von T 4 die über die Widerstände R 5 . . . R 8 abgeschwächte Ausgangsspannung erscheint. Zwischen Basis und Emitter entsteht somit eine Steuerspannung, die zur Regelung des Serientransistors T 3 (über den Treiber T 2) dient. Tritt am Ausgang ein Kurzschluß auf, nimmt der Strom durch die Zenerdiode ab und an R 4 tritt ein Spannungsabfall auf, der T 4 und damit auch T 2 und T 3 sperrt. Dieser Zustand bleibt auch nach Beseitigung des Kurzschlusses erhalten und ändert sich erst, wenn die Taste T kurz gedrückt wird. Dann steht am Ausgang wieder die Spannung, die mit R 7 eingestellt wurde.

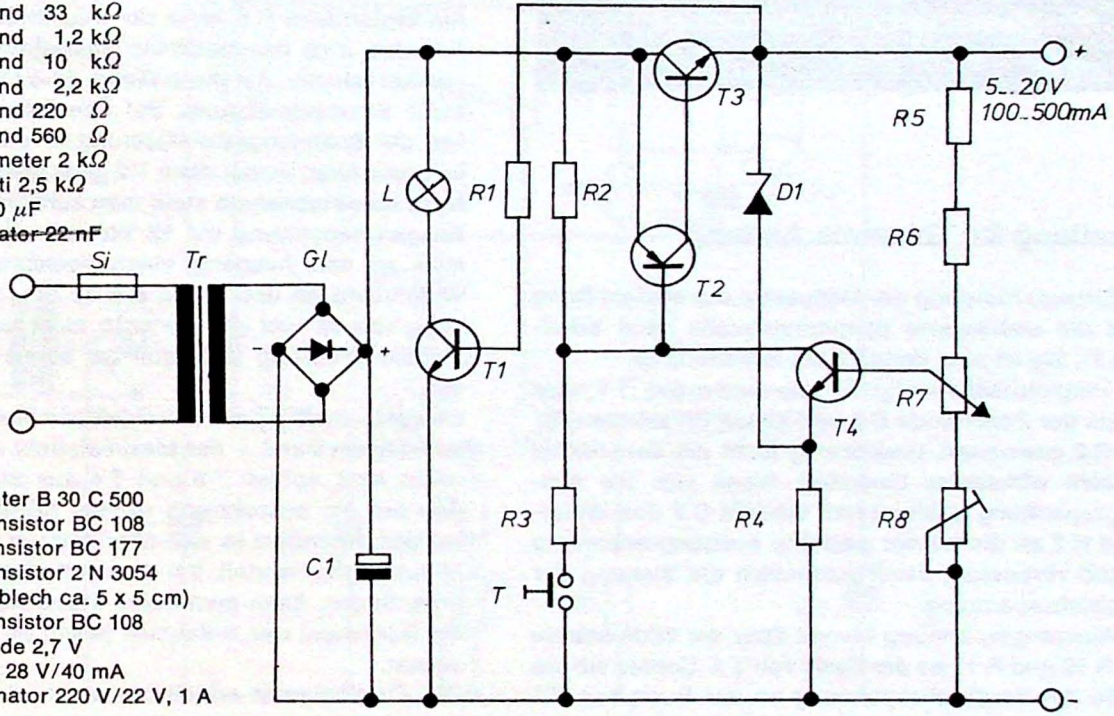
Die Schaltung ist so ausgelegt, daß sich mit R 7 Spannungen von 5 bis 20 Volt einstellen lassen. Die obere Spannungsgrenze bestimmt R 8, die untere R 5 und R 6. Der entnehmbare Strom hängt von der eingestellten Spannung ab. Er beträgt bei 6 Volt etwa 500 mA und sinkt bei 20 Volt auf ca. 100 mA ab. Bis zum Maximalstrom aber bleibt die eingestellte Ausgangsspannung konstant.

Zur Anzeige der Betriebsbereitschaft des Netzteils dient die Lampe L in Verbindung mit T 1. Im Kurzschlußfall erhält die Basis von T 1 über R 1 keine Vorspannung mehr und L erlischt.

Technische Daten	
Ausgangsspannung	+ 5 . . . + 20 V
Ausgangsstrom	100 . . . 500 mA
Brummspannung bei Leerlauf	0,5 mV
Brummspannung bei 100 mA	1,8 mV
Brummspannung bei ausgelöster Sicherung	1 mV
Restspannung bei ausgelöster Sicherung	100 mV
Ausregelung von Netzspannungsschwankungen	100fach
Innenwiderstand	0,15 Ω

Einzelteilliste
Schaltung 30:

R 1 Widerstand 33 kΩ
R 2 Widerstand 1,2 kΩ
R 3 Widerstand 10 kΩ
R 4 Widerstand 2,2 kΩ
R 5 Widerstand 220 Ω
R 6 Widerstand 560 Ω
R 7 Potentiometer 2 kΩ
R 8 Trimmpoti 2,5 kΩ
C 1 Elko 2500 µF
~~C 2 Kondensator 22 nF~~



Gl Gleichrichter B 30 C 500
T 1 NPN-Transistor BC 108
T 2 PNP-Transistor BC 177
T 3 NPN-Transistor 2 N 3054
(mit Alu-Kühlblech ca. 5 x 5 cm)
T 4 NPN-Transistor BC 108
D 1 Zenerdiode 2,7 V
L Glühlampe 28 V/40 mA
Tr. Transformator 220 V/22 V, 1 A

11. Stabilisierte 12-V-Spannungsquelle

Schaltung 31: Gesamtschaltung

Zur Stromversorgung der Meßgeräte aus diesem Band dient die stabilisierte Spannungsquelle nach Schaltung 31. Sie ist eine Variante der Schaltung 29.

Die Vergleichsspannung für die Basis von T 1 wird mittels der Zenerdiode D 1 und den Widerständen R 1 und R 2 gewonnen. Gleichzeitig dient die Zenerdiode als sehr wirksames Siebglied. Wenn sich die Ausgangsspannung gebildet hat, schließt D 2 den Widerstand R 2 an die besser gesiebte Ausgangsspannung an und verbessert damit wesentlich die Siebung der Vergleichsspannung.

Die Ausgangsspannung kommt über die Widerstände R 9, R 10 und R 11 an die Basis von T 2. Sobald sie die Größe der Vergleichsspannung an der Basis von T 1 übersteigt, fließt über T 2 ein zusätzlicher Strom durch R 7 + R 8. Dadurch sinkt der Kollektorstrom von T 1 ab und damit auch der Basisstrom von T 3. Folglich wird die Ausgangsspannung auf einen Wert stabilisiert, der sich mit R 11 einstellen läßt.

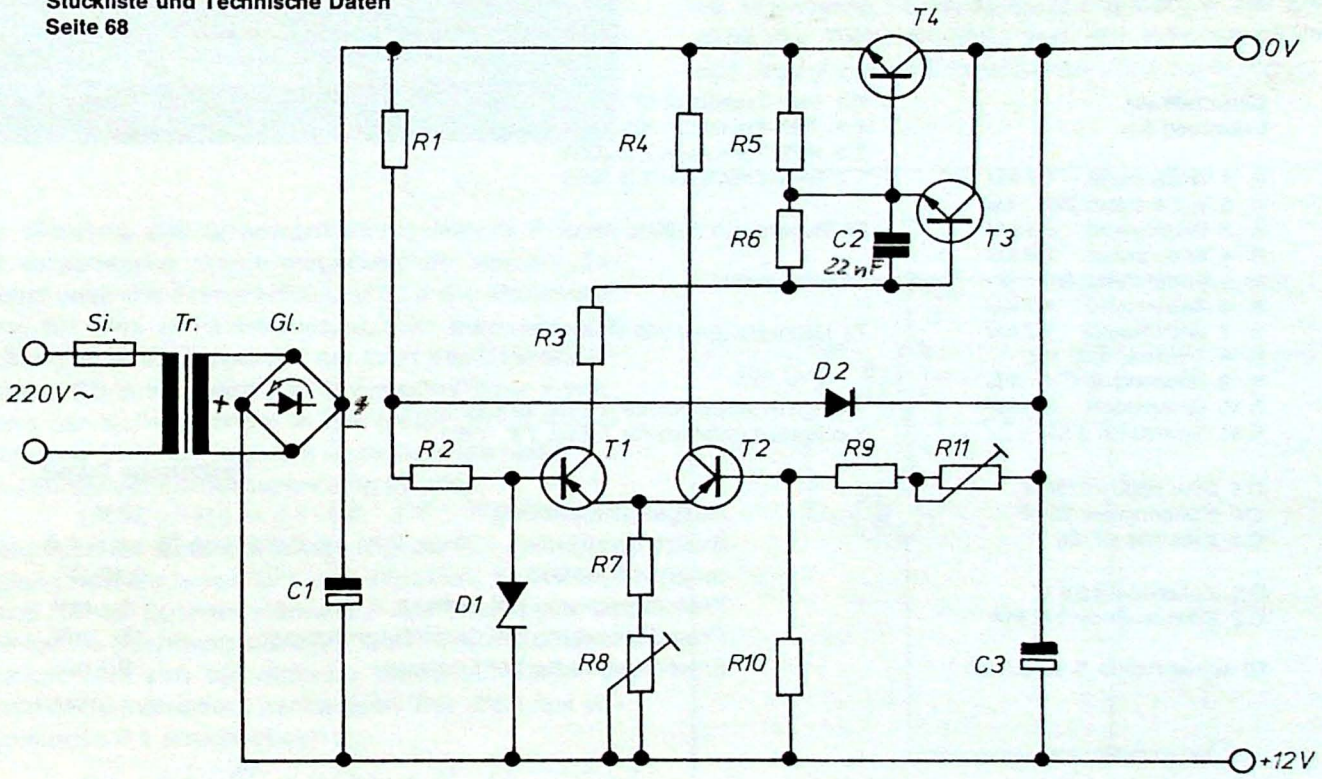
Am Widerstand R 8 kann der maximale Strom durch T 1, also auch der maximale Basisstrom von T 3 eingestellt werden. Auf diese Weise erhält man eine wirksame Strombegrenzung. Bei Überlastung geht nämlich die Spannungsstabilisierung in eine Stromstabilisierung über, wobei dann T 2 ganz gesperrt ist.

Nach Inbetriebnahme stellt man zunächst mit R 11 die Ausgangsspannung auf 12 Volt ein. Danach schließt man an den Ausgang einen hochbelastbaren 6-Ω-Widerstand an und regelt R 8 so ein, daß die Spannung von 12 Volt gerade noch nicht zurückgeht. Die Strombegrenzung setzt nun bei einem Wert von 2 A ein.

Obwohl — selbst beim Anschluß sämtlicher Meßgeräte aus diesem Band — der Maximalstrom von 2 A nie erreicht wird, sollten T 3 und T 4 aus Sicherheitsgründen auf ein ausreichend großes Kühlblech montiert werden. Nachdem es sich aber hier um eine geregelte Minusleitung handelt, bei der die Kollektoren am Ausgang liegen, kann man beide Transistoren direkt auf die Rückwand des Gehäuses (wenn es aus Metall ist) setzen.

Das Originalgerät erhielt an der Vorderseite 8 Lautsprecherbuchsen, an die über entsprechende Stecker die einzelnen Meßgeräte angeschlossen werden.

Stückliste und Technische Daten
Seite 68



Einzelteilliste
Schaltung 31:

R 1 Widerstand 4,7 kΩ
R 2 Widerstand 220 kΩ
R 3 Widerstand 3,9 kΩ
R 4 Widerstand 3,9 kΩ
R 5 Widerstand 470 Ω
R 6 Widerstand 4,7 kΩ
R 7 Widerstand 4,7 kΩ
R 8 Trimmpoti 25 kΩ
R 9 Widerstand 1 kΩ
R 10 Widerstand 2,7 kΩ
R 11 Trimmpoti 5 kΩ

C 1 Elko 5000 µF/35 V
C 2 Kondensator 22 nF
C 3 Elko 100 µF/35 V

D 1 Zenerdiode 6,8 V
D 2 Siliziumdiode 1 N 914

Gl Gleichrichter B 30 C 3200

T 1 PNP-Transistor BC 177
T 2 PNP-Transistor BC 177
T 3 NPN-Transistor 2 N 3054
T 4 NPN-Transistor 2 N 3055

Si Sicherung 1 A/flink

S Netzschalter

Tr Netztrafo, prim 220 V sek. 18 V/2,5 A

1 mm Alu-Kühlblech für T 4 ca. 10 x 10 cm
1 mm Alu-Kühlblech für T 3 ca. 7 x 7 cm

Technische Daten

Ausgangsspannung	12 V
Ausgangsstrom max. 2 A, in Schaltung 29	max. 1 A
Innenwiderstand	0,12 Ω
Fremdspannung bei Vollast	1 mV
Fremdspannung bei Strombegrenzung	15 mV
Fremdspannung bei Leerlauf	0,1 mV

12. Transistor-β-Tester

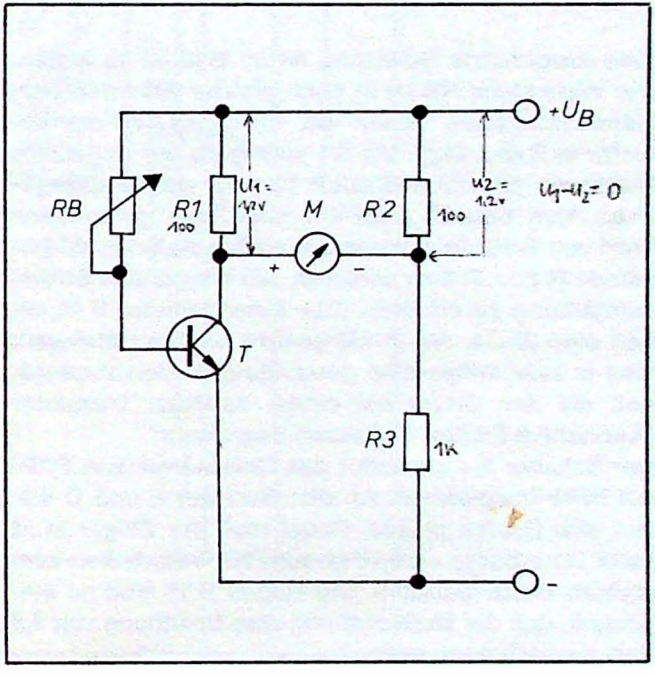
Die Messung des Stromverstärkungsfaktors β kann auf verschiedene Weise vorgenommen werden. Zunächst zeigt die Prinzipschaltung 32 a die Meßanordnung für eine Brückenschaltung. Um eine einfache Eichung zu ermöglichen soll der Wert des Basiswiderstandes RB in kΩ gleich der Stromverstärkung β sein. Wenn der Kollektorstrom in mA gleich der Betriebsspannung in V ist, muß am Kollektorwiderstand R 1 ein Zehntel der Betriebsspannung abfallen:

$$U\,1 = I_C \cdot R\,1 = 0{,}1 \cdot UB.$$ (1,2 = 0,012·100 = 0,1·12V)

Wählt man für die Widerstände R 2 und R 3 ein festes Teilungsverhältnis von 10:1 und entspricht der Widerstand RB der Stromverstärkung β des Transistors, so beträgt die Spannungsdifferenz U 1 — U 2 = 0. Dieser Zustand läßt sich auf einfache Weise mit einem 0-Punkt-Mitte-Instrument nachweisen. Der Wert des Widerstandes R 1 errechnet sich zu:

$$R\,1 = 0{,}1 \cdot \frac{Ub}{I_C} = 0{,}1\ k\Omega.$$ = $0{,}1 \cdot \frac{12}{0{,}012} = 100$

Die Größe der Widerstände R 2 und R 3 ist unkritisch. Sie sollen nur bei verstimmter Brücke einen einwandfrei ablesbaren Strom durch M ergeben, wobei allerdings das Teilerverhältnis von 10:1 erhalten bleiben muß. Soviel zu den theoretischen Voraussetzungen.



Schaltung 32: β-Meßgerät

Eine ausgeführte Schaltung ist im Bild 32 zu sehen. Der Widerstand RB ist in neun gleiche 100-kΩ-Widerstände aufgeteilt, denen ein 100-kΩ-Draht-Potentiometer in Reihe liegt. Mit S 1 wird grob der ungefähre Nullpunkt gesucht und mit R 10 dann genau abgeglichen. Nun braucht man nur noch zum gefundenen Wert von R 10 die Summe der eingeschalteten Widerstände R 1 . . . R 9 zu addieren, um die genaue Stromverstärkung zu erhalten. Das Potentiometer R 10 erhält eine Skala, die in kΩ geeicht ist. Dem Meßwerk sind je zwei antiparallel geschaltete Dioden zugeordnet, die den Strom bei einem defekten Transistor (Kurzschluß Emitter-Kollektor) begrenzen.
Der Schalter S 2 gestattet das Umschalten von PNP- auf NPN-Transistoren. An den Buchsen E und C lassen sich Dioden prüfen. Dabei muß der Zeiger in M beim Umschalten von NPN auf PNP vom linken zum rechten ENDE wandern. Der Regler R 15 wird so eingestellt, daß der Meßschaltung eine Spannung von 4,5 Volt zur Verfügung steht.

Einzelteilliste
Schaltung 32:

R 1 . . . 9
Widerstände 100 kΩ
R 10 Draht-Potentiometer 100 kΩ
R 11 Widerstand 1 kΩ
R 12 Widerstand 100 Ω
R 13 Widerstand 100 Ω
R 14 Widerstand 1 kΩ
R 15 Trimmpoti 2,5 kΩ

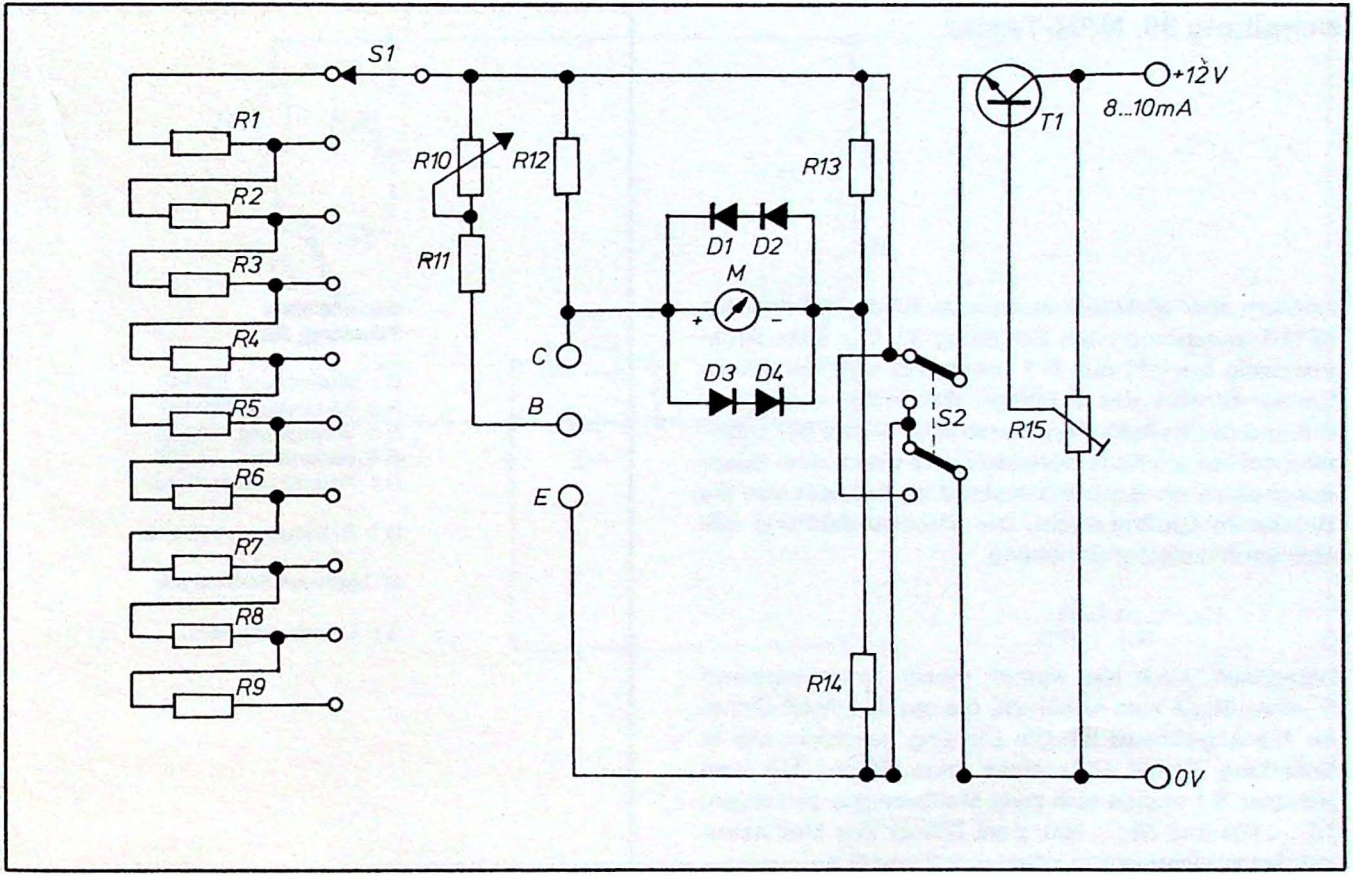
T 1 NPN-Transistor BC 108

D 1 . . . D 4 Si-Dioden 1 N 914 o. ä.

M Meßwerk 50-0-50 µA

S 1 Schalter 10pol.
S 2 Umschalter 2pol.

T Testtransistor


S1
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
R9
R10
R11
R12
R13
R14
R15
C
B
E
D1
D2
D3
D4
M
+
–
S2
T1
+12V
8...10mA
0V

Schaltung 33: NPN-Tester

Ähnlich, aber einfacher aufgebaut, ist der β-Tester für NPN-Transistoren nach Schaltung 33. Der linke Brükkenzweig besteht aus R 1 (oder R 2) und der Basis-Emitter-Strecke des Prüflings, der rechte aus R 4 + R 5 und der Kollektor-Emitterstrecke. Wenn der Spannungsabfall am Kollektorwiderstand gleich dem Spannungsabfall am Basis-Widerstand ist, befindet sich die Brücke im Gleichgewicht. Die Stromverstärkung läßt sich dann nach der Gleichung

$$\beta = \frac{\text{R 1 (2)}}{\text{R 4} + \text{R 5}}$$

berechnen. Auch hier kommt dieser Zusammenhang in einer Skala zum Ausdruck, die um das Potentiometer R 5 angebracht ist. Die Eichung geschieht wie in Schaltung 32 mit Hilfe eines Ohm-Meters. Mit dem Schalter S 1 lassen sich zwei Meßbereiche einstellen: 10 . . . 100 und 50 . . . 500. Zum Schutz des Meßinstrumentes vor Überlastung dienen R 3 und D 1.

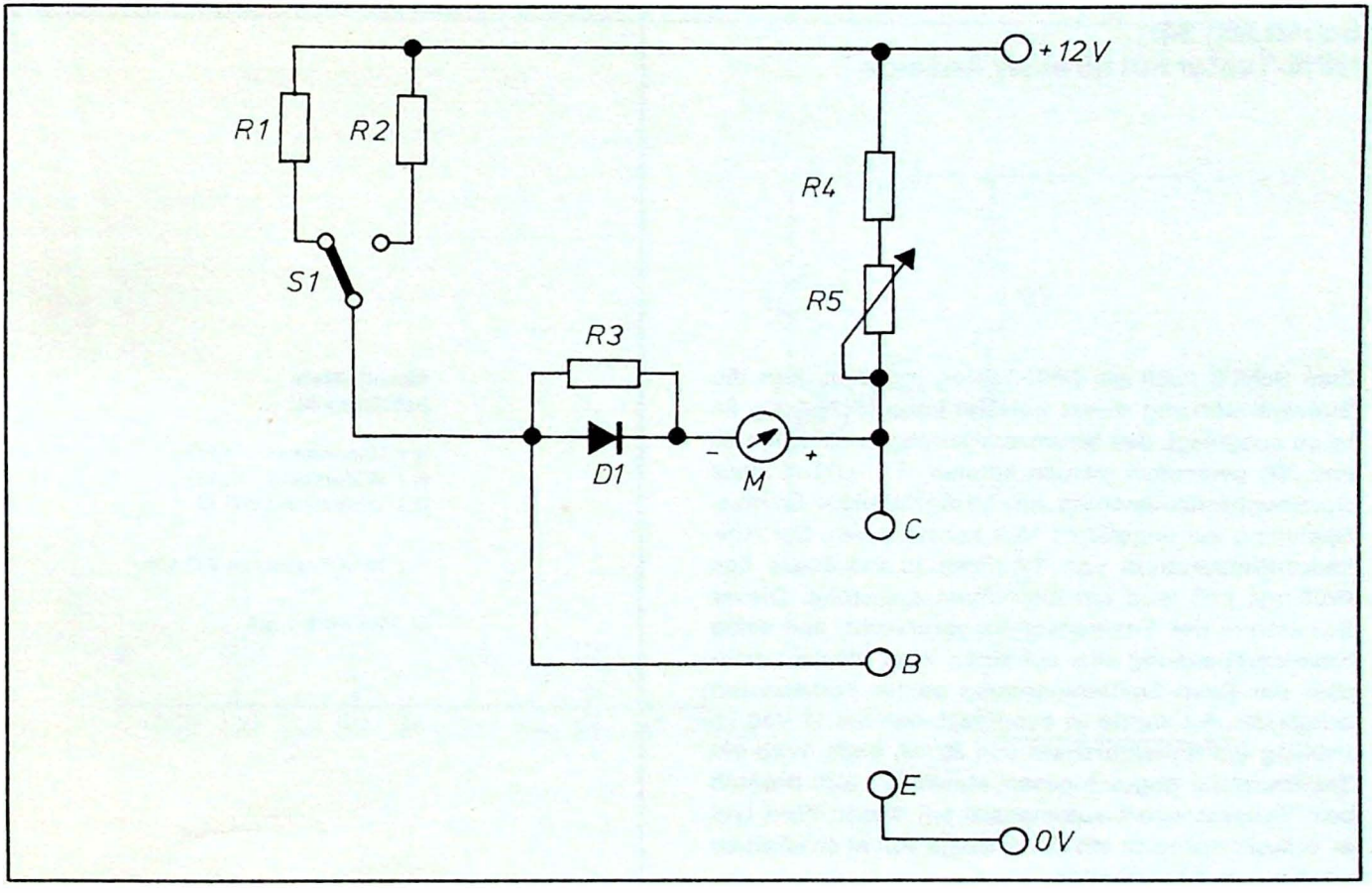
Einzelteilliste
Schaltung 33:

R 1 Widerstand 100 kΩ
R 2 Widerstand 500 kΩ
R 3 Widerstand 10 kΩ
R 4 Widerstand 1 kΩ
R 5 Potentiometer 10 kΩ

D 1 Si-Diode 1 n 914 o. ä.

M Meßwerk 50-0-50 μA

S 1 Umschalter 1pol.


+12V
R1
R2
R4
S1
R5
R3
D1
M
C
B
E
0V

Schaltung 34:
NPN-Tester mit direkter Anzeige

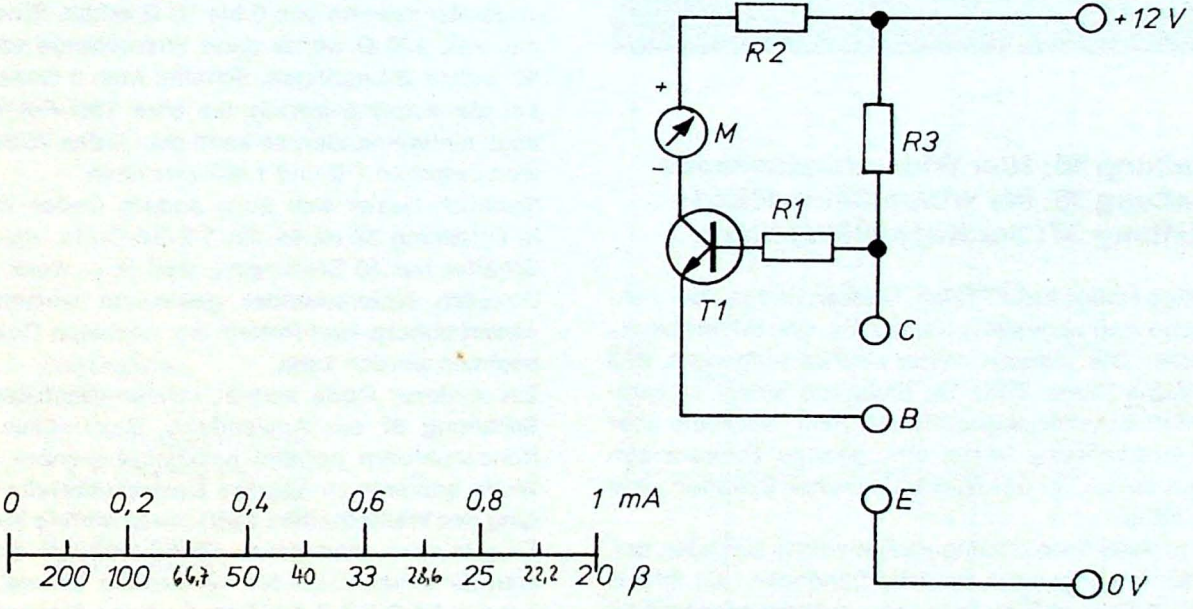
Zum Schluß noch ein NPN-Tester, mit dem man die Stromverstärkung direkt ablesen kann. Schaltung 34 ist so ausgelegt, daß Stromverstärkungen zwischen 20 und 200 gemessen werden können. T 1 ist Teil einer Spannungsstabilisierung, welche die Kollektor-Emitter-Spannung auf ungefähr 1 Volt konstant hält. Der Kollektor-Emitterstrom von T 1 fließt in die Basis des Prüflings und wird am Instrument angezeigt. Dieser Basisstrom des Testtransistors verursacht, daß seine Kollektorspannung sich auf einen Wert einstellt, welcher der Basis-Emitterspannung beider Transistoren entspricht. R 1 wurde so ausgelegt, daß bei 11 Volt im Prüfling ein Kollektorstrom von 20 mA fließt. Wird ein Testtransistor angeschlossen, stabilisiert sich deshalb sein Kollektorstrom automatisch auf diesen Wert und er braucht nur noch mit der Anzeige von M dividiert zu werden, um β zu erhalten.

Einzelteilliste
Schaltung 34:

R 1 Widerstand 1 kΩ
R 2 Widerstand 12 kΩ
R 3 Widerstand 560 Ω

T 1 NPN-Transistor BC 108

M Meßwerk 1 mA


+12 V
R2
+
M
–
R3
R1
T1
C
B
E
0 V
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1 mA
200
100
66,7
50
40
33
28,6
25
22,2
20
β

13. RC-Dekaden

Schaltung 35: 10er Widerstandsdekade
Schaltung 36: 9er Widerstandsdekade
Schaltung 37: 9er Kapazitätsdekade

Wichtige Helfer beim Prüfen, Messen und bei der Fehlersuche sind abgestufte Kapazitäts- und Widerstandsdekaden. Die meisten davon sind so aufgebaut, daß 10 gleiche Werte Stufe für Stufe von einem entsprechenden Schalter abgegriffen werden. Nachdem aber die Einzelteilwerte immer eine geringe Toleranz aufweisen sollen, ist der Nachbau solcher Dekaden nicht ganz billig.

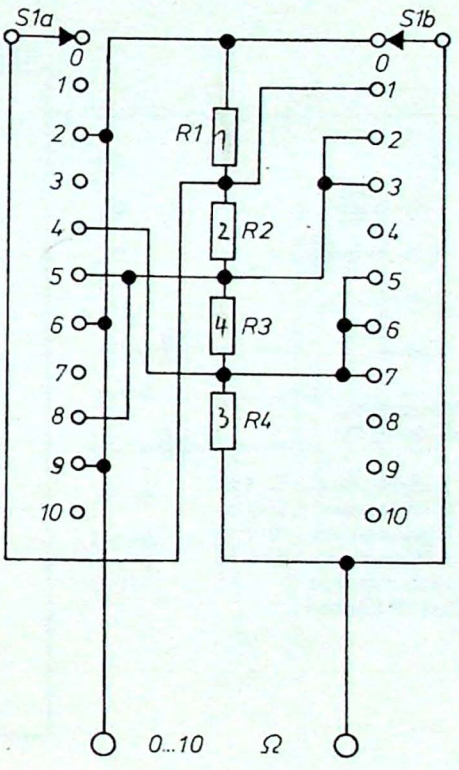
Eine preiswertere Lösung stellen solche Dekaden dar, die nur 4 wertgenaue Bauteile benötigen, die mittels eines 2-Ebenen-Schalters so zusammengeschaltet werden, daß sich am Ausgang Werte von 0 . . . 10 in Einer-Schritten (bzw. 10er, 100er usw., je nach Dekadengröße) ergeben.

Schaltung 35 zeigt eine Widerstands-Dekade, die den 1-2-3-4-Code verwendet. Durch Addition lassen sich sämtliche Werte zwischen 1 und 10 erzielen. Die 4 Widerstände sind durch entsprechende Beschaltung des Stufenschalters so kombiniert, daß man am Ausgang Widerstandswerte von 0 bis 10 Ω erhält. Eine Dekade mit max. 100 Ω würde dann Widerstände von 10, 20, 30 und 40 Ω benötigen. Schaltet man 6 Dekaden, wobei die einzelne jeweils um eine 10er-Potenz höher liegt, hintereinander, so kann man jeden Widerstandswert zwischen 1 Ω und 1 MΩ erreichen.

Natürlich lassen sich auch andere Codes einsetzen. In Schaltung 36 ist es ein 1-2-3-5-Code. Hier hat der Schalter nur 10 Stellungen, weil ja — wenn mehrere Dekaden hintereinander geschaltet werden — die nächst höhere 10er-Potenz der nächsten Dekade entnommen werden kann.

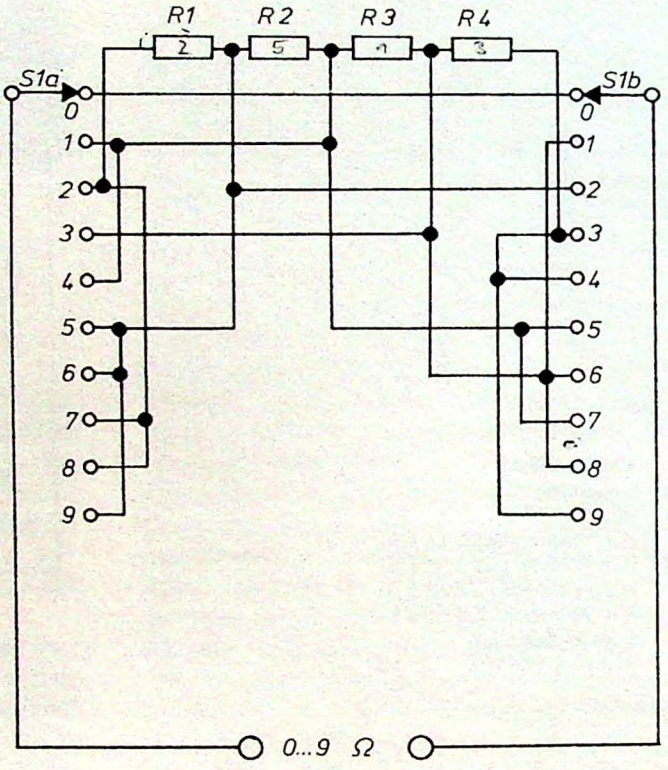
Ein weiterer Code kommt in der Kapazitätsdekade Schaltung 37 zur Anwendung. Bekanntlich müssen Kondensatoren parallel geschaltet werden, um ihre Werte addieren zu können. Deshalb fällt die Verdrahtung des Wahlschalters auch etwas anders aus.

Es gibt noch eine ganze Reihe weiterer Codes, die man für solche Dekaden verwenden könnte. So z. B. 1-2-4-8, 1-2-3-7, 1-2-4-5. Dem findigen Amateur wird es sicher keine Schwierigkeiten bereiten, für das bei ihm vorhandene Material den richtigen Code zu finden und die jeweiligen Schaltungen dann diesem Material anzupassen.



Einzelteilliste
Schaltung 35:

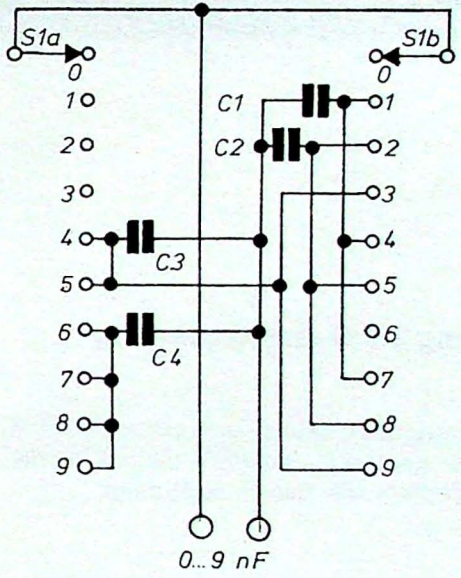
R 1 Widerstand 1 Ω/1 %
R 2 Widerstand 2 Ω/1 %
R 3 Widerstand 4 Ω/1 %
R 4 Widerstand 3 Ω/1 %
S 1a/b Schalter
11pol./2 Ebenen



Einzelteilliste
Schaltung 36:

R 1 Widerstand 2 Ω/1 %
R 2 Widerstand 5 Ω/1 %
R 3 Widerstand 1 Ω/1 %
R 4 Widerstand 3 Ω/1 %
S 1a/b Schalter
10pol./2 Ebenen

Einzelteilliste
Schaltung 37:
C 1 Kondensator 1 nF/1 %
C 2 Kondensator 2 nF/1 %
C 3 Kondensator 3 nF/1 %
C 4 Kondensator 6 nF/1 %
S 1 a/b Schalter
10pol./2 Ebenen



14. Durchgangs-Prüfsummer

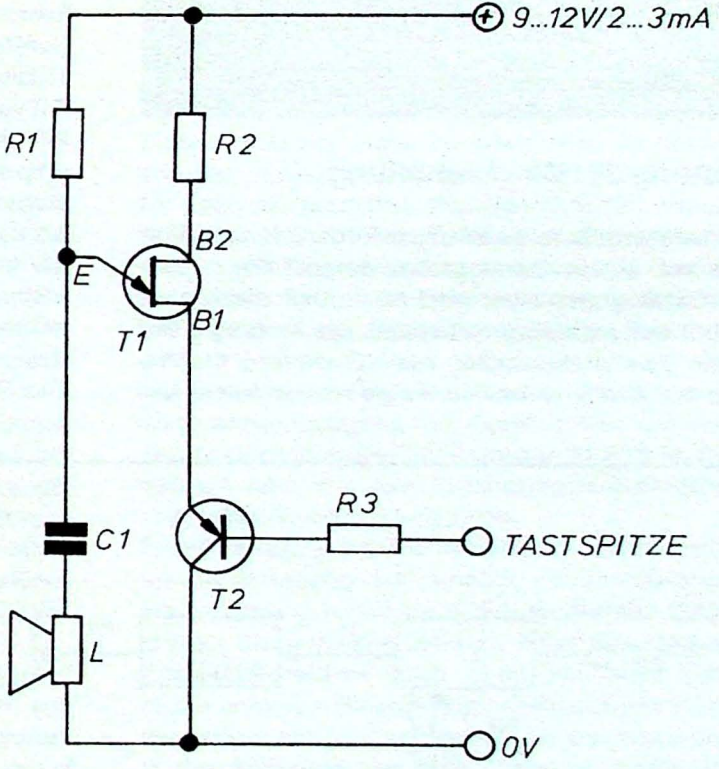
Schaltung 38: Gesamtschaltung

Zur Prüfung von Verkabelungen, Unterbrechungsmessungen bei gedruckten Leiterplatten u. ä. ist der Prüfsummer gedacht, den Schaltung 38 zeigt.

Als Kippgenerator dient ein Unijunction-Transistor (UJT). Wird die Basis von T 2 über R 3 mit Masse verbunden, so schaltet T 2 durch und legt den UJT an die Betriebsspannung. C 1 lädt sich so lange auf, bis die Zündspannung von T 1 erreicht ist. Die Strecke Emitter – Basis 1 des UJT wird leitend, C 1 entlädt sich und ein neuer Aufladevorgang beginnt. Am Emitter von T 1 entsteht eine sägezahnähnliche Kippschaltung, die der Lautsprecher L hörbar macht. Die Frequenz hängt von C 1 und R 1 ab und kann durch Vergrößern oder Verkleinern von R 1 dem persönlichen Geschmack angepaßt werden.

Grundsätzlich arbeitet die Schaltung auch ohne T 2. Die Basis 1 von T 1 würde dann die Tastspitze sein. Es hat sich aber gezeigt, daß sich dieser Prüfsummer auch sehr gut zum Durchmessen von Transistoren (Emitter- und Kollektordioden) und Dioden eignet. Ohne T 2 aber würde an der Prüfspitze die volle Betriebsspannung liegen und die Gefahr der Zerstörung des Meßobjekts wäre groß. Durch das Einfügen von T 2 fließt jetzt über das Meßobjekt nur noch ein Strom von ca. 20 μA, wodurch eine Zerstörung ausgeschlossen wird.

Zur Stromversorgung eignet sich sehr gut eine kleine 9-V-Transistorbatterie. Im Betriebszustand fließt ein Strom von 2 . . . 3 mA, während im Sperrzustand nur ein Leckstrom von wenigen nA vorhanden ist. Aus diesem Grund kann ein Batterie-Abschalter entfallen.



Einzelteilliste
Schaltung 38:

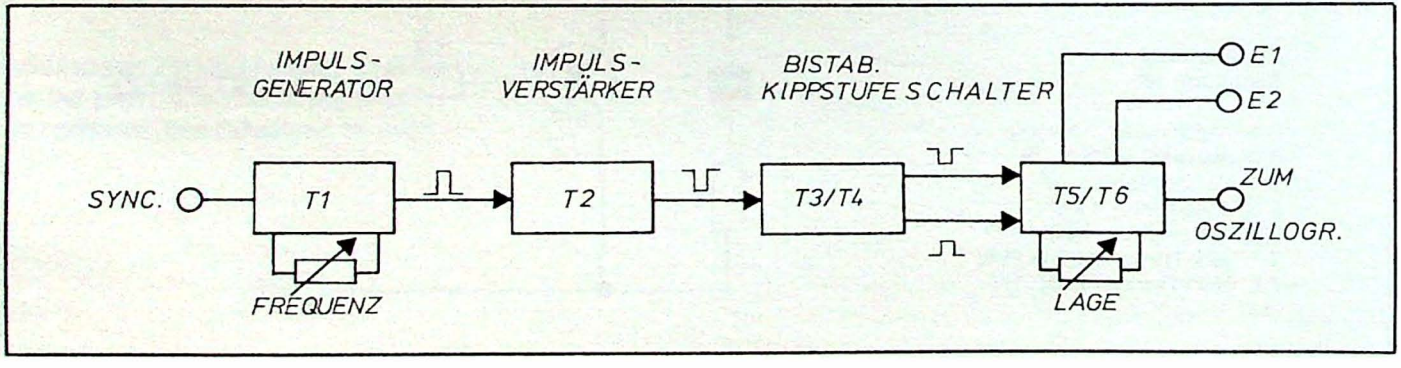
R 1 Widerstand 3,9 kΩ
R 2 Widerstand 180 Ω
C 1 Kondensator 1 µF
R 3 Widerstand 1 kΩ
L Miniaturlautsprecher 8 Ω
T 1 UJT-Transistor 2 N 2646
T 2 PNP-Transistor BC 177

15. Elektronischer Schalter

Schaltung 39: Blockschaltung

In der Meßtechnik ist es häufig erforderlich, zwei Vorgänge auf einem Oszillografen darzustellen. Zweistrahl-Oszillografen aber sind teuer und meist nicht im Labor des Amateurs vorhanden. Als Ausweg bietet sich ein Zweistrahlschalter zum (Einstrahl-) Oszillografen an, der in schneller Folge abwechselnd das eine und das andere Meßsignal an den Eingang des Oszillografenverstärkers weitergibt.

Schaltung 39 zeigt das Blockschaltbild eines solchen Gerätes. T 1 erzeugt eine NF-Spannung von 15 Hz bis 15 kHz. An seiner Basis 1 entsteht ein Impuls, der von T 2 verstärkt und in der Phase um 180° gedreht wird. Mit dieser Spannung wird eine bistabile Kippstufe (Flip-Flop) angesteuert, die abwechselnd die Transistoren T 5/T 6 des Umschalters öffnet bzw. schließt. An den Eingängen E 1 und E 2 des Umschalters sind die beiden Signale angeschlossen, während der gemeinsame Ausgang zum Oszillografen führt. Die Lage beider Signale läßt sich von Null aus sowohl in positiver, als auch in negativer Richtung verschieben. Das Gesamtschaltbild zeigt Schaltung 40.



Schaltung 40: Gesamtschaltung

Der Unijunction (Doppelbasis-) Transistor T 1 ist in bekannter Weise als astabile Kippstufe geschaltet. C 2 ist die frequenzbestimmende Kapazität, die über R 1 und R 2 geladen wird. Die Entladung erfolgt nach Erreichen des Zündzeitpunktes in Abhängigkeit vom Widerstandswert von R 1, wobei sich die Frequenz von 15 Hz bis 15 kHz variieren läßt. Am Emitter von T 1 entsteht demzufolge eine exponentiell ansteigende Sägezahnspannung, während an R 5 ein steilflankiger positiver Spannungssprung erscheint. Dieser wird von T 2 verstärkt und in einen ebenso steilflankigen, negativen Impuls umgeformt. Mit ihm wird die bistabile Kippstufe T 3/T 4 angesteuert. An den Kollektoren dieser Transistoren steht eine symmetrische Rechteckspannung zur Verfügung.

Die beiden Schalttransistoren T 5 und T 6 arbeiten auf einen gemeinsamen Kollektorwiderstand R 18 von 2,7 kΩ. Von diesem gelangen beide Signalspannungen zum Oszillografen. Die Emitterwiderstände von je 3,3 kΩ rufen eine starke Gegenkopplung hervor, wodurch sich eine gute Linearität bei einer Signalabschwächung um den Faktor 0,7 . . . 0,9 einstellt. Der Schaltverstärker wird vom Flip-Flop T 3/T 4 an den jeweiligen Emittern gesteuert. Dabei liegt immer ein Transistor über insgesamt 6 kΩ entweder am Plus-Potential und ist für das an seiner Basis stehende Signal gesperrt, oder ist über den dazugehörigen Flip-Flop-Transistor mit Masse verbunden und arbeitet dann als normaler, gegengekoppelter Verstärker. Die Basisvorspannung beider Schalttransistoren läßt sich mit R 17 so verändern, daß sich das Gleichspannungspotential an den Kollektoren verschiebt und damit auch die Lage der Nullinien auf dem Oszillografenschirm.

Die Synchronisation kann sowohl intern, vom Synchronisationsausgang des Oszillografen auf den Synchronisationseingang der astabilen Kippstufe, als auch von E 1 oder E 2 zum Synchronisationseingang des Oszillografen erfolgen.

Die Schaltstufe T 5/T 6 ist bewußt einfach gehalten, um die Schaltung nicht unnötig zu komplizieren. Der Frequenzgang reicht bei voll aufgedrehten Eingangsreglern bis weit über 300 kHz. Einer Erweiterung des Frequenzbereiches nach oben hin steht natürlich nichts im Wege. Beispielsweise läßt sich ein Eingangsverstärker mit kompensiertem Spannungsteiler, wie in der Schaltung des Millivoltmeters ausführlich beschrieben, ohne weiteres einfügen.

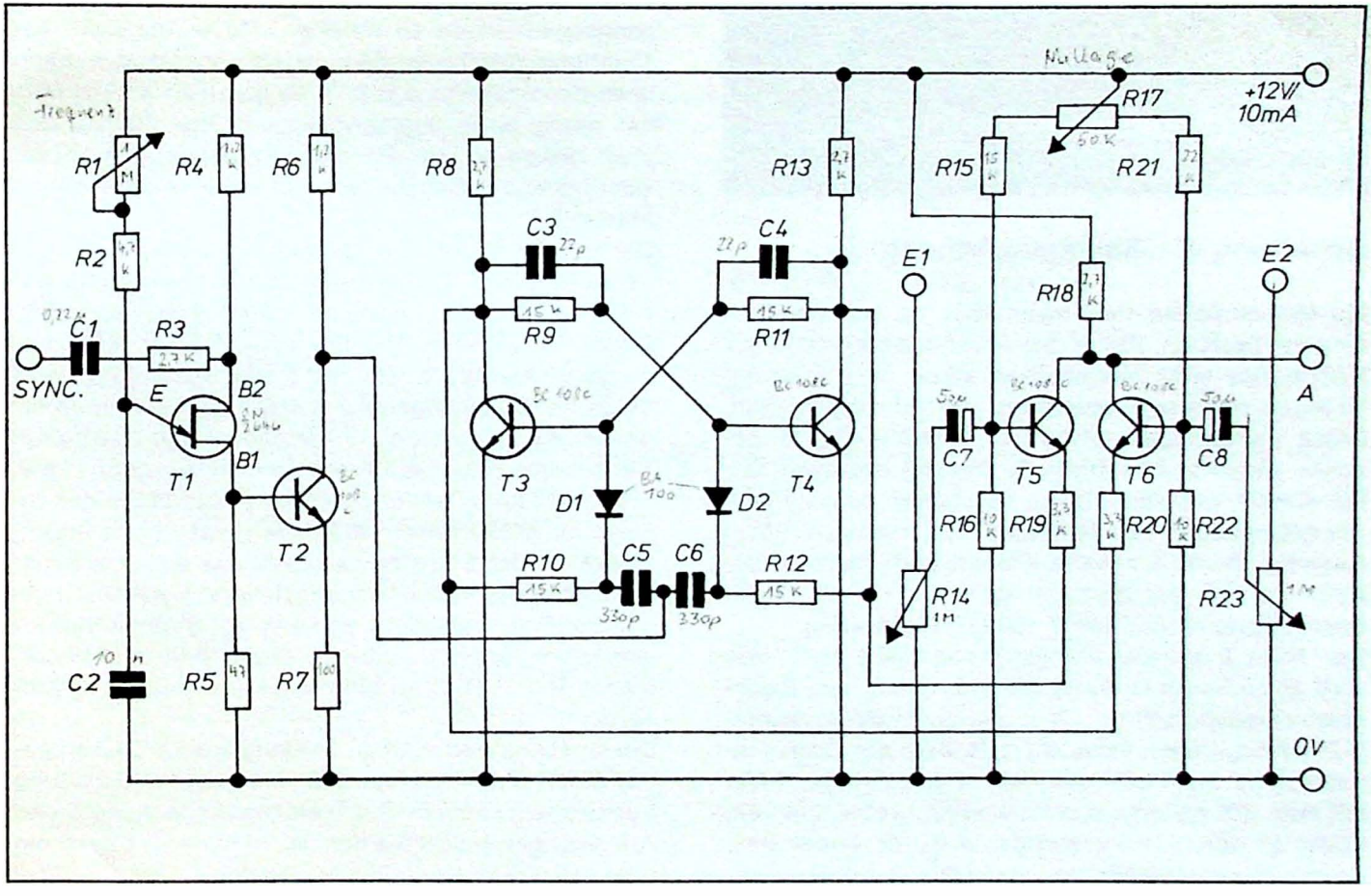
Einzelteilliste
Schaltung 40:

R 1 Potentiometer 1 MΩ
R 2 Widerstand 4,7 kΩ
R 3 Widerstand 2,7 kΩ
R 4 Widerstand 1,2 kΩ
R 5 Widerstand 47 Ω
R 6 Widerstand 1,2 kΩ
R 7 Widerstand 100 Ω
R 8 Widerstand 2,7 kΩ
R 9 Widerstand 15 kΩ
R 10 Widerstand 15 kΩ
R 11 Widerstand 15 kΩ
R 12 Widerstand 15 kΩ
R 13 Widerstand 2,7 kΩ
R 14 Potentiometer 1 MΩ
R 15 Widerstand 15 kΩ
R 16 Widerstand 10 kΩ
R 17 Potentiometer 50 kΩ
R 18 Widerstand 2,7 kΩ
R 19 Widerstand 3,3 kΩ
R 20 Widerstand 3,3 kΩ
R 21 Widerstand 22 kΩ
R 22 Widerstand 10 kΩ
R 23 Potentiometer 1 MΩ

C 1 Kondensator 0,22 µF
C 2 Kondensator 10 nF
C 3 Kondensator 22 pF
C 4 Kondensator 22 pF
C 5 Kondensator 330 pF
C 6 Kondensator 330 pF
C 7 Elko 50 µF
C 8 Elko 50 µF
T 1 Unijunction-Transistor 2 N 2646
T 2 NPN-Transistor BC 108 C
T 3 NPN-Transistor BC 108 C
T 4 NPN-Transistor BC 108 C
T 5 NPN-Transistor BC 108 C
T 6 NPN-Transistor BC 108 C
D 1 Si-Diode BA 100
D 2 Si-Diode BA 100

Technische Daten

Frequenzgang:	20 Hz . . . > 300 kHz
Verstärkung:	0 dB
Schaltfrequenz:	15 Hz . . . 15 kHz
Nullinienabstand der beiden Kanäle:	regelbar ± 2 cm
Betriebsart:	Chopper
Betriebsspannung:	12 V
Stromaufnahme:	10 mA


Fréquence
Nullage
+12V/
10mA
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
R9
R10
R11
R12
R13
R14
R15
R16
R17
R18
R19
R20
R21
R22
R23
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
T1
T2
T3
T4
T5
T6
D1
D2
E1
E2
A
0V
SYNC.
E
B2
B1
22p
33op
5µ
1M
50K

16. Universalverstärker

Schaltung 41: Gesamtschaltung

Ein Meßverstärker muß stets einen so hochohmigen Eingang besitzen, daß er den Abschlußwiderstand des Meßobjekts nicht beeinflussen kann. Sein Ausgang dagegen sollte so niederohmig wie nur möglich sein. Diese Forderungen erfüllt der in Schaltung 41 gezeigte Universalverstärker. Er besteht aus zwei Teilen: Einem komplementären Verstärker, sowie einem komplementären Emitterfolger mit niederohmigem Ausgang. Beide Einheiten können auch getrennt benutzt werden, allerdings ist dann für T 3 ein Basisspannungsleiter (100 kΩ + 100 kΩ) vorzusehen.

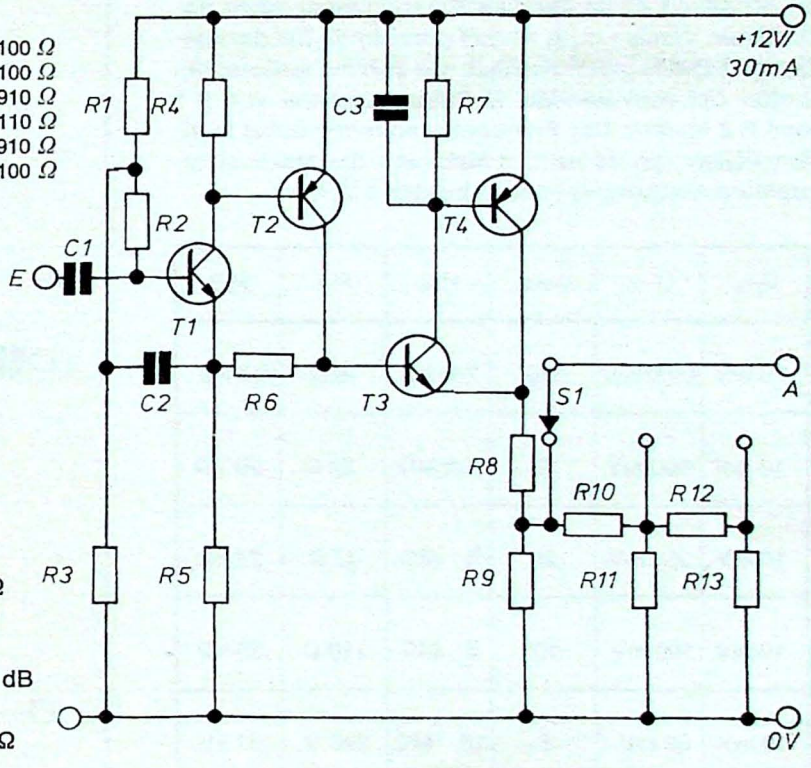
Der hohe Eingangswiderstand von 5 MΩ bei 1 kHz wird in erster Linie durch die Anordnung des Basisspannungsteilers R 1 . . . R 3, sowie von der Kapazität C 2 hervorgerufen. Ohne C 2 z. B. liegt der Eingangswiderstand „nur" bei etwa 1 MΩ. Der Verstärker kann mit max. 300 mV angesteuert werden, wobei dann am Kollektor von T 2 3 V stehen, d. h., es findet eine Spannungsverstärkung von 10 statt. Um höhere Ausgangsspannungen zu erhalten, müßte die Betriebsspannung erhöht werden, jedoch ändert sich dann auch der Widerstand R 3. In diesem Fall ersetzt man ihn durch einen Trimmwiderstand von 100 kΩ und stellt diesen so ein, daß eine Sinusspannung an der Übersteuerungsgrenze symmetrische Abkappungen aufweist.

Der komplementäre Emitterfolger ist galvanisch an die Verstärkerstufe angekoppelt. Die Kapazität C 3 soll Schwingneigungen verhindern und kann entfallen, wenn sich keine solche Eigenschaft zeigt. Die max. Ausgangsspannung des Verstärkers von 3 V wird durch den Spannungsteiler R 8/R 9 auf 1,5 V heruntergeteilt und kann mittels S 1 in Stufen von 20 dB dem Kettenteiler R 9 . . . R 13 entnommen werden. (1,5 V, 150 mV, 15 mV). Der Ausgangswiderstand beträgt konstant ca. 100 Ω (genau: 90 Ω). Der relativ hohe Stromverbrauch der Endstufe resultiert aus dem niederohmigen Netzwerk des Ausgangsteilers. Verzichtet man auf die Niederohmigkeit, so kann der Stromverbrauch wesentlich gesenkt werden. Dazu sind die Widerstände R 9 . . . R 13 im gleichen Verhältnis zu vergrößern.

Der Ausgang darf in allen Stellungen von S 1 kurzgeschlossen werden, ohne daß dadurch der Schaltung irgend etwas passiert. Sollte ein gleichspannungsfreier Ausgang gewünscht werden, so ist hinter S 1 noch ein Elko von 500 µF Kapazität zu schalten.

Einzelteilliste
Schaltung 41:

R 1 Widerstand 270 kΩ
R 2 Widerstand 270 kΩ
R 3 Widerstand 33 kΩ
R 4 Widerstand 3,3 kΩ
R 5 Widerstand 100 Ω
R 6 Widerstand 1 kΩ
R 7 Widerstand 1 kΩ
R 8 Widerstand 100 Ω
R 9 Widerstand 100 Ω
R 10 Widerstand 910 Ω
R 11 Widerstand 110 Ω
R 12 Widerstand 910 Ω
R 13 Widerstand 100 Ω
C 1 Kondensator 0,1 µF
C 2 Kondensator 0,1 µF
C 3 Kondensator 4,7 nF
T 1 NPN-Transistor BC 108
T 2 PNP-Transistor BC 177
T 3 NPN-Transistor BC 108
T 4 PNP-Transistor BC 177
S 1 Schalter 3pol.



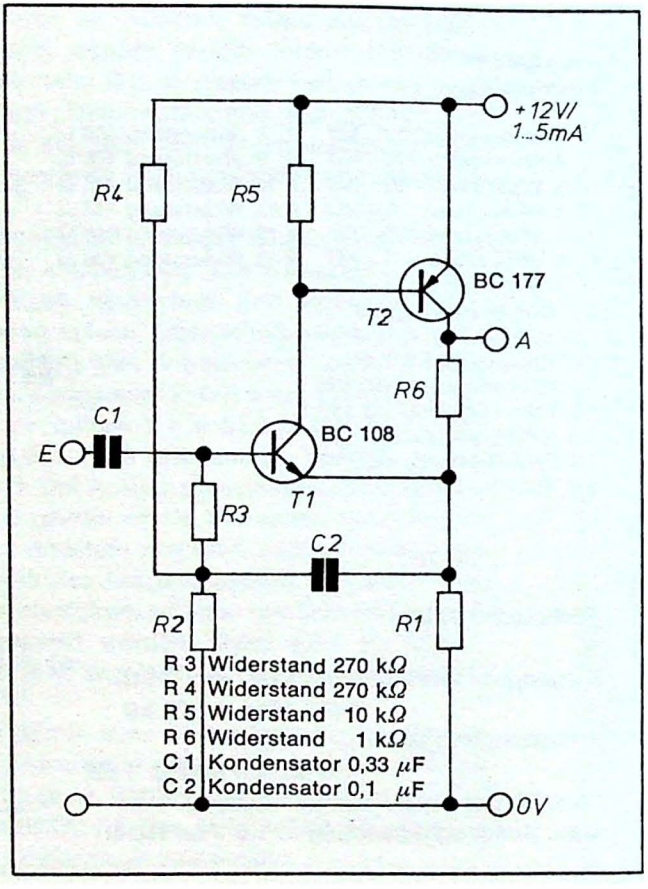
Technische Daten:

Eingangswiderstand bei 1 kHz ~ 5 MΩ
bei 1 MHz ~ 100 kΩ
Frequenzgang (Bei $U_{Aus} = 1$ V)
10 Hz . . . 1 Mhz ± 1 dB
Max. Eingangsspannung 300 mV
Max. Ausgangsspannung 1,5 V an 100 Ω

Schaltung 42: Komplementärverstärker

In Schaltung 42 ist der Verstärker in einer leicht geänderten Version noch einmal gezeichnet. Die dazugehörige Tabelle gibt Aufschluß, wie sich die technischen Daten bei wechselnden Widerstandswerten von R 1 und R 2 ändern. Der Frequenzgang reicht dabei in allen Fällen von 10 Hz . . . 1 MHz und die maximal erzielbare Ausgangsspannung beträgt 3 Volt.

U_{EIN}	U_{AUS}	Verst.	R_{EIN}	R 1	R 2
10 mV	1000 mV	100	700 kΩ	10 Ω	18 kΩ
10 mV	500 mV	50	1,5 MΩ	22 Ω	20 kΩ
10 mV	250 mV	25	3 MΩ	47 Ω	22 kΩ
10 mV	100 mV	10	5 MΩ	110 Ω	39 kΩ
10 mV	50 mV	5	10 MΩ	240 Ω	51 kΩ



ISBN 3-7724-0181-3

Wer experimentiert braucht Meß- und Prüfgeräte, die man nach den Bauanleitungen in diesem Buch selbst machen kann. Sie sind so einfach wie möglich ausgelegt, sodaß auch der Anfänger sich leicht in dieses Gebiet einarbeiten kann. Lediglich Grundkenntnisse in Halbleitertechnik und praktische Erfahrungen im Umgang mit dem Lötkolben werden vorausgesetzt. Das Buch beginnt mit einem einfach zu bauenden Klein-Oszillografen mit 3-cm-Röhre. Dieses Selbstbaugerät ist bewußt einfach konstruiert, auch ist die Schaltung vollkommen mit Transistoren bestückt. Die Meßmöglichkeiten wurden auf die am häufigsten vorkommenden Messungen beschränkt.

Alle Schaltungen in diesem Buch sind so ausgelegt, daß nur wenige und dann immer dieselben Halbleiter verwendet werden. Außer dem Klein-Oszillografen werden alle Geräte mit einer Spannung +12 V betrieben. Dies erspart die Ausgabe für Netzteile und ermöglicht die gemeinsame Speisung aus einer stabilisierten Spannungsquelle.